



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

TESIS DOCTORAL EN GEOGRAFIA

**HIDROGEOMORFOLOGIA
DE LA CUENCA ALTA DEL RIO SAUCE GRANDE
APLICADA AL PELIGRO DE CRECIDAS**

Lic. Verónica Gil

Bahía Blanca

Argentina

2009

PREFACIO

Esta Tesis se presenta como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Doctor en Geografía, de la Universidad Nacional del Sur y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad u otra. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el área de Geografía Física, dependiente del Departamento de Geografía y Turismo durante el período comprendido entre el 08/07/2003 y el 2/12/2009, bajo la dirección de Dra. Alicia M. Campo, Profesora Asociada de la cátedra Geografía de los Sistemas Naturales I, de la carrera de Licenciatura y Profesorado de Geografía e Investigadora Adjunta del CONICET.

Verónica Gil

Bahía Blanca, 2 – 12 – 2009
Departamento de Geografía y Turismo
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

RESUMEN

La presente tesis doctoral aborda el estudio de la hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas y su relación con las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en la misma. El área de estudio se localiza en el sector Sureste del Sistema de Ventania, Suroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina.

Se estudiaron las características climatológicas regionales y de la cuenca en particular. Se focalizó en el comportamiento de las precipitaciones tanto espacial como temporalmente. Se analizó y comparó la distribución de caudales para diferentes períodos y para distintas cuencas pertenecientes a la cuenca alta del río Sauce Grande. Asimismo, se realizó un análisis de los parámetros e índices morfométricos con el objetivo de evaluar el comportamiento diferencial de las cuencas. Los resultados obtenidos se cartografiaron y permitieron identificar cuencas con mayor potencialidad de generar crecidas.

Se realizaron los mapas geomorfológicos e hidrogeomorfológicos de la cuenca alta del río Sauce Grande. Se intensificó el análisis, con un cambio de escala, en sectores de relevancia geomorfológica e hidrogeomorfológica. Los mismos se aplicaron a la determinación de la peligrosidad de crecidas y la zonificación de áreas expuestas a crecidas al área urbana de Sierra de la Ventana.

Todas las variables analizadas (geomorfológicas, hidrográficas, climáticas, morfométricas) conforman el comportamiento hídrico dinámico de las diferentes cuencas y repercuten en la ocurrencia y magnitud de los eventos de avenidas, así como en las características de torrencialidad ante sucesos hidrometeorológicos extremos.

El estudio hidrogeomorfológico realizado para la cuenca alta del río Sauce Grande demostró que las cuencas Nacimiento o Destierro Primero, de los Remansos, Horqueta del Sauce, del Oro y San Bernardo del cordón Sierra de la Ventana y las cuencas Atravesado y El Negro del cordón Las Tunas y Pillahuincó son las que deben ser monitoreadas constantemente a los efectos de generar los sistemas de alerta efectivos que protejan a la población expuesta a los peligros de las crecidas de los arroyos serranos.

ABSTRACT

This doctoral thesis deals with the hydrogeomorphology study of the high basin of the Sauce Grande river applied to the danger of flooding and the relation with the different antropic activities that take place there. The study area is located in the Southeast of the Ventania System, Southwest of Buenos Aires province, Argentina.

The region's climatological characteristics as well as the basin's characteristics have been studied in particular. Emphasis was put on the precipitation not only spatial but also temporal. What has also been analyzed and compared with the distribution of the volume of flow for different periods and different basins in the high basin of the Sauce Grande river. An analysis of the morphometric parameters and rates has also been done with the aim of evaluating the differential behavior of the basins. The results obtained from these studies have been mapped; from those results it was possible to identify the basins with high potential to produce flash floodings.

Geomorphological and hydrogeomorphological maps have been made of the high basin of the Sauce Grande river. Emphasis was put on the analysis, with a scale change, in the areas of geomorphological and hydrogeomorphological relevance. These were applied to determine flash flooding dangers and the zoning of areas exposed to flooding to the urban area of Sierra de la Ventana.

All the analysed variables (geomorphological, hydrographical, climatological and morphometrical) make up the dynamic hydric behavior of the different basins and have an effect on the happening and magnitude of the flash flood, as well as on the torrential characteristics before extreme hydrometeorological events.

This hydrogeomorphological study of the high basin of the Sauce Grande river proved that the basins of Nacimiento or Destierro Primero, Remansos, Horqueta del Sauce, del Oro and San Bernardo of the Sierra de la Ventana chain and the basins of Atravesado and El Negro of Las Tunas and Pillahuincó chain are the ones which must be constantly monitored so as to generate effective warning systems to protect the population exposed to flooding dangers of the mountain streams.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi gratitud al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur por su apoyo constante al área de Geografía Física donde se desarrolló esta tesis y por posibilitar el acceso al instrumental necesario para abordar los trabajos de campo. Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) por otorgarme la Beca Interna de formación de posgrado tipo I y II las cuales posibilitaron el aumento de mi dedicación para la realización de esta tesis.

En forma muy particular a la Dra. Alicia M. Campo, por tantas horas de su tiempo, por su valioso asesoramiento y por sus siempre desinteresados consejos profesionales. Por el aliento y apoyo en esos momentos en que uno pierde el rumbo y se encuentra en zona de calmas. Gracias por formarme académicamente!

Por la gentileza y disposición con que me atendieron y facilitaron información y material general referido al tema de mi trabajo, agradezco a la Dra. Mirta Quattrocchio, Dr. Julio Uboldi, Dr. Roberto Bustos Cara, Dra. Susana Bidart, Dr. Jorge Rabassa, Lic. Stella M. Visciarelli, Dra. Elizabet Carbone y Dra. Cintia M. Piccolo.

Al Dr. Raúl A. Mikkan, por iniciarme en el camino geomorfológico y por su predisposición y aliento permanente en mi labor académica.

A la Autoridad Provincial del Agua, por facilitarme los datos de caudales disponibles de la cuenca. Al Parque Provincial Ernesto Tornquist por facilitar mi ingreso a las diferentes áreas, permitir la medición de variables geomorfológicas y colaborar con datos de precipitación.

A mis amigos y compañeros de proyecto, por acompañarme en las numerosas actividades de campo, por estar cerca cuando se necesita una mano y por compartir jornadas académicas. Especialmente a Lic. P. Zapperi, Lic. M. B. Ramos y Lic. S. Hernández Moresino por ayudarme con su tiempo y predisposición en la etapa final de esta tesis. A Lic. J. Gentili, Lic. M. Asencio y Lic. A. L. Casado por ser mis compañeros de campo. A la Lic. A. Silva por su asesoramiento cartográfico. A la Agrim. Beatriz Aldalur, por ser mi apoyo en lo referido a fotografías aéreas. A la Lic. G. Zapperi por su asesoramiento relacionado con el pastizal pampeano.

A Nelly y Roy Simons, quienes permitieron la instalación de la estación meteorológica en su campo y me brindaron información muy valiosa referente a mi estudio.

A mi familia, especialmente a mis padres, María del Carmen y Lorenzo y mis hermanos, Patricia, Carolina y Gustavo por su paciencia al escucharme, su aliento constante y confianza en mi trabajo.

Por último, a mi esposo Adrián, por el apoyo anímico, su afecto y compañía en todo momento. Gracias por estar a mi lado para llegar a esta meta!

Verónica Gil

Bahía Blanca, 2 – 12 – 2009

Departamento de Geografía y Turismo

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR

Para Adrián

ÍNDICE

<u>PREFACIO</u>	<u>I</u>
<u>RESUMEN</u>	<u>II</u>
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	<u>IV</u>
<u>ÍNDICE GENERAL</u>	<u>VI</u>
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	<u>XI</u>
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	<u>XVII</u>
<u>PARTE 1</u>	<u>1</u>
<u>CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN</u>	
1.1. Reseña de antecedentes y estado actual del conocimiento a escala global, regional y local	2
1.2. Localización del área de estudio	7
1.3. Presentación y justificación de la problemática a investigar	10
1.4. Hipótesis de trabajo	11
1.5. Objetivos de la tesis	12
1.5.1. Objetivo general	12
1.5.2. Objetivos específicos	12
<u>CAPITULO 2: ASPECTOS METODOLOGICOS</u>	
2.1. Aspectos conceptuales que guían la investigación	13
2.1.1. La Geografía Física dentro de la disciplina geográfica	13
2.1.2. El ciclo hidrológico	13
2.1.3. La cuenca hidrográfica como unidad sistémica	14
2.1.4. El sistema morfogénico fluvial	16
2.1.5. Riesgos naturales	17
2.2. Materiales y métodos	19
2.2.1. Bibliografía	19
2.2.2. Cartografía temática y Sistema de Información Geográfica	20
2.2.3. Datos numéricos. Análisis y generación.	22
2.2.3.1. Datos hidrométricos	22
2.2.3.2. Datos climatológicos y meteorológicos	23
2.2.4. Fotografía aérea y convencional	25
2.2.5. Clasificación y definición de las variables morfométricas utilizadas	25
2.2.5.1. Jerarquización de los cauces y división de las cuencas	26
2.2.5.2. Tipología de la red	27

2.2.5.3. Análisis morfométrico	27
2.2.6. Cartografía geomorfológica básica y aplicada	27
2.2.7. Medición y análisis de corrientes fluviales	30
2.2.8. Estudio de las dimensiones del riesgo	31

PARTE 2

CAPITULO 3: CONTEXTO FÍSICO - AMBIENTAL A ESCALA REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Aspectos relevantes del contexto físico	34
3.1.1. El clima a escala zonal y regional	34
3.1.1.1. Masas de aire generadoras de estados de tiempo: diferencias estacionales	34
3.1.1.2. Estados de tiempo que inciden en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires	36
3.1.1.3. Los elementos climáticos y las diferencias espaciales y estacionales a escala regional	38
3.1.2. Unidades morfoestructurales del Suroeste de la provincia de Buenos Aires	46
3.1.2.1. Elementos morfoestructurales	48
3.1.2.1.1. La llanura	48
3.1.2.1.2. El Sistema de Ventania	48
3.1.2.1.2.a. Síntesis de descripción estratigráfica del Sistema de Ventania	48
3.1.2.1.2.b. Descripción de la composición litológica de las formaciones estratigráficas del Sistema de Ventania	51
3.1.2.2. Análisis resumido de la estructura del Sistema de Ventania	53
3.1.3. Etapas morfogenéticas del Sistema de Ventania y áreas adyacentes	54
3.1.4. Aspectos biogeográficos del Suroeste bonaerense	57
3.1.4.1. Los suelos predominantes	57
3.1.4.2. Territorios fitogeográficos naturales	59
3.2. Aspectos relevantes del contexto socio-económico	62
3.2.1. Breve análisis de algunos aspectos de la población en el Suroeste bonaerense	62
3.2.2. El Sistema de Ventania y la llanura circundante sostén de las actividades socio-económicas desarrolladas en el Suroeste bonaerense	63

PARTE 3

CAPITULO 4: LA CUENCA DEL RÍO SAUCE GRANDE

4.1. La cuenca y el río Sauce Grande	70
4.2. Ambientes geomorfológicos	73
4.3. Unidades litoestratigráficas presentes en la cuenca	74
4.4. Breve historia geológica de la cuenca del río Sauce Grande	74

CAPITULO 5: CARACTERISTICAS BIOGEOGRAFICAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE

5.1. Los suelos de la cuenca alta del río Sauce Grande: predominio de la asociación roca y Hapludol lítico	76
5.2. Los suelos desde el punto de vista hidrológico	80
5.3. La vegetación de la cuenca alta del río Sauce Grande: pastizales y endemismos	81
5.3.1. Diferenciación de vertientes solanas y umbrías	83

CAPITULO 6: LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS Y LOS CAUDALES: LA DINÁMICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE

6.1. El comportamiento de los elementos climáticos	87
6.1.1. El diagrama ombrotérmico	87
6.1.2. Las temperaturas según los datos históricos y actuales en la cuenca alta del río Sauce Grande	89
6.1.3. Análisis anual y estacional de las frecuencias por direcciones del viento	93
6.1.4. Análisis de la precipitación en la cuenca alta según datos históricos y actuales	97
6.1.4.1. Variaciones temporales de la precipitación: la precipitación anual	97
6.1.4.2. Variaciones temporales de la precipitación: las precipitaciones mensuales	100
6.1.4.3. Índice de precipitación estandarizada (IPE): períodos secos y húmedos	103
6.1.4.4. Variabilidad espacial de las precipitaciones y la influencia del cordón serrano	109
6.1.4.4.1 Variabilidad de la precipitación con la altura	113
6.2. Los caudales: respuesta dinámica de la cuenca a las condiciones climáticas	116
6.2.1. Análisis histórico de los caudales de la cuenca alta del río Sauce Grande	117
6.2.2. Análisis comparativo de los caudales medios históricos entre los años 1938 - 1943	121
6.2.2.1. Caudales específicos	124
6.2.3. Relación entre los caudales y las precipitaciones para el período 1938 – 1942	126
6.2.4. Análisis de registros de caudales actuales	128
6.2.5. Datos obtenidos del aforamiento directo de sectores representativos de la cuenca alta	133

CAPITULO 7: APROXIMACIÓN CUANTITATIVA EN GEOMORFOLOGÍA FLUVIAL: ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS E ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

7.1. Análisis morfológico y morfométrico	136
7.1.1. Tipología de las redes de drenaje	139
7.2. Análisis de las subcuencas según las variables topológicas y de longitud	142
7.2.1. Relación de Bifurcación	142
7.2.2. Relación de Longitud	145
7.3. Análisis de las subcuencas según las variables de forma y tamaño	148
7.3.1. El área	148
7.3.2. Relación de elongación	149
7.4. Análisis de las subcuencas según las variables del relieve	151
7.4.1. Desnivel y pendiente media del curso principal	151
7.4.2. Determinación de las pendientes medias	154
7.4.3. Razón del Relieve y Relación de Relieve	155
7.5. Análisis de las subcuencas según las variables de intensidad fluvial	158

7.5.1. Índice de frecuencia	158
7.5.2. Densidad de drenaje	158
7.5.3. Coeficiente de almacenamiento, índice de torrencialidad y constante de mantenimiento	160

PARTE 4

CAPITULO 8: GEOMORFOLOGÍA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE

8.1. Geomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande	164
8.1.1. Formas estructurales	164
8.1.1.1. Macizo antiguo	164
8.1.1.2. Hogback y crestas	167
8.1.1.3. Clusé y collado de divisoria de agua	168
8.1.1.4. Tafoni	170
8.1.2. Formas climáticas	171
8.1.2.1. Superficies de erosión paleógenas	171
8.1.2.2. Pedimentos	171
8.1.2.3. Bajadas, acumulaciones aluviales y superficies de acumulación fluvial residuales	173
8.1.3. Dinámica de vertientes	177
8.1.4. Hidrografía	177
8.1.5. Elementos de origen antropogénico	177
8.2. Las vertientes: características y procesos	178
8.2.1. Identificación y análisis de procesos de vertientes en la cuenca alta del río Sauce Grande	181

CAPITULO 9: DINAMICA HIDROGEOMORFOLOGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE

9.1. Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca alta del río Sauce Grande	199
9.1.1. Características hidrológicas de los terrenos	199
9.1.1.1. Áreas con rocas coherentes	201
9.1.1.2. Áreas con cubierta sedimentaria	202
9.1.2. Características de los cauces	203
9.1.3. Tipos de escurrimiento	206
9.1.4. Procesos y dinámicas de vertientes	206
9.1.5. Porcentaje de vegetación	207
9.2. Caracterización hidrogeomorfológica de dos cuencas representativas en laderas opuestas	207
9.2.1. Hidrogeomorfología del sector de nacientes del río Sauce Grande	207
9.2.2. Hidrogeomorfología de la cuenca del arroyo El Negro	209
9.3. Caracterización morfológica de dos tramos del curso principal del río Sauce Grande	211
9.3.1. Características morfológicas del tramo Peralta	215
9.3.2. Características morfológicas del tramo Pambianco	220

CAPITULO 10: ANÁLISIS DE LA EXPOSICIÓN Y EL PELIGRO DE CRECIDA

10.1. ¿Qué son las crecidas? Análisis de las mayores crecidas del río Sauce Grande en los últimos 100 años	225
10.2. Planteo de las diferentes dimensiones del riesgo de crecidas en la localidad de Sierra de la Ventana	238
10.3. Sierra de la Ventana una localidad expuesta al peligro de crecidas	240
10.3.1. Los lugares esenciales de Sierra de la Ventana	242
10.3.2. Usos del suelo y grado de ocupación en Sierra de la Ventana	242
10.3.3. Zonas inundadas por crecidas en Sierra de la Ventana	245
10.3.4. Exposición de la localidad de Sierra de la Ventana al peligro de inundación por crecida	248
<u>CONCLUSIONES</u>	251
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	254

LISTA DE FIGURAS**PARTE 1**

Figura 1.1. La llanura pampeana y sistemas serranos	7
Figura 1.2. Sistema serrano y principales cuencas de drenaje	9
Figura 2.1. La cuenca hidrográfica como unidad de análisis	15
Figura 2.2. Variables digitalizadas sobre la base de la cartografía topográfica IGM a escala 1:50.000	21
Figura 2.3. Método de jerarquización de los cauces. Strahler en 1964 modificó parcialmente el método propuesto por Horton en 1945	26
Figura 2.4. Nivel óptico digital utilizado para la obtención de perfiles	31

PARTE 2

Figura 3.1. Área de dominio de las masas de aire para el verano e invierno	35
Figura 3.2. Fase inicial del Pampero	36
Figura 3.3. Tormenta de polvo en cercanías de Bahía Blanca (21/12/08)	37
Figura 3.4.a. Situación sinóptica del viento Norte	37
Figura 3.4.b. Situación sinóptica de Sudestada	38
Figura 3.5. Temperaturas medias anuales y amplitudes térmicas (1981 – 1990) para distintas localidades del Suroeste bonaerense	40
Figura 3.6. Rosas de los vientos para localidades representativas de la región (1981-1990)	41
Figura 3.7. Mapas de isohietas para distintos períodos	42
Figura 3.8. Distribución de la precipitación en la tormenta del 26 de agosto de 2002	45
Figura 3.9. Distribución de la precipitación en la tormenta del 17 de julio de 2004	46
Figura 3.10. Elementos morfoestructurales del territorio bonaerense	47
Figura 3.11. Ubicación de los cordones serranos que componen el Sistema de Ventania	49
Figura 3.12. Columna estratigráfica simplificada	50
Figura 3.13. Formaciones y depósitos sedimentarios que componen el Sistema de Ventania	52
Figura 3.14. Esquema simplificado de la evolución morfogenéticas del Sistema de Ventania	55
Figura 3.15. Clasificación taxonómica de los suelos en el Suroeste bonaerense	58
Figura 3.16. Mapa de las provincias fitogeográficas argentinas	60
Figura 3.17. Pastizales basales conformados por especies del género <i>Stipa</i> entre otros	61
Figura 3.18. Densidad de población del Suroeste bonaerense por partido para el año 2001	63

Figura 3.19. Partidos del Suroeste de la provincia de Buenos Aires	63
Figura 3.20. Superficie implantada con siembra directa por producto para las localidades del Suroeste de la provincia	65
Figura 3.21. Número de cabezas de ganado para las diferentes provincias del Suroeste bonaerense	65
Figura 3.22. Principales localidades y red vial del Suroeste bonaerense	66
Figura 3.23. Cantidad de habitantes de las localidades que integran el partido de Tornquist	68

PARTE 3

Figura 4.1. Red hidrográfica y altimetría de la cuenca del río Sauce Grande	71
Figura 4.2. Red de drenaje jerarquizada y cuenca alta, media y baja del río Sauce Grande	72
Figura 4.3. Perfil esquemático de las formaciones presentes en la cuenca alta del río Sauce Grande	75
Figura 5.1. Asociaciones correspondientes a cada Unidad Cartográfica y su distribución en el paisaje	77
Figura 5.2. Unidades Cartográficas y suelos de la cuenca alta del río Sauce Grande	77
Figura 5.3. Textura de los suelos en la cuenca del río Sauce Grande. (a) triángulo textural (b) detalle de la cuenca alta (c) sectores de la cuenca alta con diferentes grupos hidrológicos de suelos	79
Figura 5.4. Diferentes especies del pastizal pampeano	82
Figura 5.5. A. Vegetación introducida (coníferas) que gana espacio a las especies autóctonas. B. Vista de un sector serrano luego de un incendio	83
Figura 5.6. <i>Plantago bismarckii</i> (llantén plateado)	84
Figura 5.7. Mapa de exposición de las laderas de la cuenca alta del río Sauce Grande	85
Figura 5.8. Parque Provincial Ernesto Tornquist. Fotografías de los accesos por la Ruta Provincial Norte N° 76	86
Figura 6.1. Localización de las estaciones meteorológicas y diagramas ombrotérmicos según los registros de cada período	88
Figura 6.2. Distribución anual de temperaturas medias y absolutas de la estación Sierra de la Ventana para el período 1961-1970	89
Figura 6.3. Distribución de temperaturas medias y absolutas de la estación Sierra de la Ventana para el período 1971-1980	90
Figura 6.4. Sector del río Sauce Grande con una capa de hielo. Año 2007	92
Figura 6.5. Variación de la temperatura media mensual del año 2007 y 2008 respecto a la media del período 1961 – 1980. S.M.N.	92
Figura 6.6. Rosa de los vientos para la estación Sierra de la Ventana. Frecuencia (‰) para el período 1961-1970 (a) y 1971-1980 (b)	93
Figura 6.7. (a) Rosa de los vientos para la estación Nonthue para los años 2007 y 2008 en frecuencia (‰). (b) exposición de la vegetación a los vientos dominantes del Norte-Noroeste	94
Figura 6.8. Rosa de los vientos estacionales para la estación Nonthue. Frecuencia en ‰ para el año 2007	95
Figura 6.9. Rosa de los vientos para la estación Nonthue. Frecuencia en ‰ para el año 2008	96
Figura 6.10. Lluvias anuales para el período 1915 -2005. Establecimiento Nonthue	98
Figura 6.11. Frecuencia de las precipitaciones (%) para el establecimiento Nonthue en el período 1915 – 2005	99
Figura 6.12. Lluvias medias mensuales para el período 1915-2005. Establecimiento Nonthue	101

Figura 6.13. Distribución de los valores medios mensuales de precipitación según las décadas. Establecimiento Nonthue	102
Figura 6.14. Índice de Precipitación Estandarizada a escala de 12 meses para la estación Nonthue (1915-2005)	107
Figura 6.15. Frecuencia relativa de eventos para IPE12	107
Figura 6.16. Índice de Precipitación Estandarizada a escala de 6 meses para la estación Nonthue (1915-2005)	108
Figura 6.17. Frecuencia relativa de eventos para IPE6	108
Figura 6.18. Mapas de distribución de la precipitación anual en la cuenca alta del río Sauce Grande	110
Figura 6.19. Mapas de distribución de la precipitación mensual en la cuenca alta del río Sauce Grande	111
Figura 6.20. Localización de las estaciones pluviométricas y comparación de los registros de lluvia para el período 1997 – 2005	112
Figura 6.21. Posición de los pluviómetros acumulativos analizados	114
Figura 6.22. Perfil transversal al cordón serrano. Se indica la posición altitudinal de cada pluviómetro analizado	114
Figura 6.23. Tendencia de las precipitaciones mensuales según la altura	115
Figura 6.24. Localización de las estaciones de aforo en la cuenca alta del río Sauce Grande	118
Figura 6.25. Caudales medios mensuales (Ex – Toma) y módulo para el período 1910-1947	119
Figura 6.26. Caudales medios anuales del período 1910-1047	120
Figura 6.27. Caudales medios mensuales del período 1910-1047	120
Figura 6.28. Frecuencia relativa de los caudales medios mensuales del período 1910-1047	121
Figura 6.29. Caudales medios mensuales del arroyo El Negro para el período 1938-1946	122
Figura 6.30. Caudales medios mensuales del arroyo San Bernardo para el período 1938-1946	122
Figura 6.31. Caudales medios mensuales del río Sauce Grande para el período 1938-1946	123
Figura 6.32. Distribución de los caudales medios mensuales para el periodo 1938-1943 del río Sauce Grande	123
Figura 6.33. Distribución de los caudales medios mensuales para el periodo 1938-1943 del arroyo San Bernardo	123
Figura 6.34. Distribución de los caudales medios mensuales para el periodo 1938-1943 del arroyo El Negro	124
Figura 6.35. Caudales específicos para la cuenca del río Sauce Grande y dos de sus afluentes principales	125
Figura 6.36. Comparación entre los caudales medios mensuales y las precipitaciones medias mensuales para los diferentes años del período 1938-1942	127
Figura 6.37. Caudales medios mensuales para el río Sauce Grande	129
Figura. 6.38. Relaciones entre los caudales medios mensuales y los máximos absolutos del arroyo El Negro con las precipitaciones medias mensuales de PPET y Nonthue para el año 2005	130
Figura 6.39. Comparación entre las precipitaciones mensuales y los caudales medios mensuales y máximos absolutos del arroyo San Teófilo para el año 2004	131
Figura 6.40. Comparación entre las precipitaciones mensuales y los caudales medios mensuales y máximos absolutos del arroyo El Belisario para el año 2004	132
Figura 6.41. Comparación entre las precipitaciones mensuales y los caudales medios mensuales y máximos absolutos del río Sauce Grande para el año 2004	132
Figura 6.42. Aforos directos realizados en un tramo de la corriente para la medición de caudal	133

Figura 7.1. (A) Incisión y posterior arroyada concentrada formando un cauce en los interfluvios. (B) Cauce de orden 2 en el sector de piedemonte con un ancho mínimo de 1 m	137
Figura 7.2. Subcuencas para cada curso de agua según su orden de jerarquía	138
Figura 7.3. Subcuencas que drenan el curso principal de la cuenca alta del río Sauce Grande	140
Figura 7.4. Red de drenaje de la cuenca alta del río Sauce Grande	141
Figura 7.5. Ejemplos de diseño de drenaje a nivel de subcuenca	145
Figura 7.6. Relación de Bifurcación y Longitud para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande	146
Figura 7.7. Relación de elongación y superficie para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande	150
Figura 7.8. Desnivel de la cuenca y media del curso principal para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande	153
Figura 7.9. Pendientes medias para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande	156
Figura 7.10. Mapa de pendientes de la cuenca alta del río Sauce Grande	157
Figura 7.11. Densidad de drenaje y coeficiente de torrencialidad para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande	161

PARTE 4

Figura 8.1. Mapa Geomorfológico de la cuenca alta del río Sauce grande	165
Figura 8.2. Posición topográfica de la Fm. Providencia y Fm. Lolén. Cordón Sierra de la Ventana.	166
Figura 8.3. Fm. Sauce Grande y Bonete en dos sectores del Este de la cuenca del río Sauce Grande en el cordón Pillahuincó.	166
Figura 8.4. Ejemplo de pliegues (anticlinales – sinclinales) y roturas de charnelas que conforman cavidades (circulo rojo).	167
Figura 8.5. Ejemplos de hogback y crestas en el cordón de Sierra de la Ventana.	168
Figura 8.6. Mapa gemorfológico del sector Noroeste de la cuenca alta del río Sauce Grande	169
Figura 8.7. Ejemplos de tafoni encontrados en el sector serrano.	170
Figura 8.8. Morfología de la superficie erosiva localizada entre los 800 y 950 m.	171
Figura 8.9. Terminología y características de los pedimentos desarrollados en el piedemonte serrano	172
Figura 8.10. Diferentes vistas de los pedimentos que se desarrollaron durante el Plioceno en el piedemonte serrano.	173
Figura 8.11 Mapa geomorfológico en el Centro – Oeste de la cuenca alta del río Sauce Grande.	174
Figura 8.12. Bajadas aluviales. Las fotografías reflejan la inclinación de las mismas.	175
Figura 8.13. Uso del suelo agrícola sobre las acumulaciones aluviales.	175
Figura 8.14. Mapa geomorfológico del sector Sureste de la cuenca alta del río Sauce Grande.	176
Figura 8.15. Elementos generales del relieve y posición de la vertiente o ladera. Modificado de Pedraza (1996)	179
Figura 8.16. Clasificación funcional de las vertientes	181

Figura 8.17. Localización de los perfiles topográficos en la cuenca alta del río Sauce Grande	183
Figura 8.18. Perfiles morfométricos sobre el cordón Sierra de la Ventana (Norte)	185
Figura 8.19. Tipología de pendientes y procesos asociados	186
Figura 8.20. Perfiles morfométricos sobre el cordón Sierra de la Ventana (Centro)	188
Figura 8.21. Perfiles morfométricos sobre el cordón Sierra de la Ventana (Sur)	189
Figura 8.22. Laderas tapizadas por detritos y bloques. Afloramientos rocosos con elevado diaclasamiento.	190
Figura 8.23. Laderas tapizadas por detritos y bloques. Arroyada concentrada, formación de cauce de orden 1	190
Figura 8.24. Sector comprendido entre el perfil 5 y 6	190
Figura 8.25. Perfil morfométrico sobre el cordón Sierra de la Ventana (Sur de la cuenca alta)	191
Figura 8.26. Perfil morfométrico sobre el cordón Pillahuincó (Sur de la cuenca alta)	191
Figura 8.27. Pendientes con valores entre 1° y 10°. Sector Sur de la cuenca alta del río Sauce Grande donde se desarrollan suelos con textura franco arenosa	191
Figura 8.28. Perfiles morfométricos sobre el cordón Pillahuincio (Norte)	192
Figura 8.29. Perfiles morfométricos sobre el cordón Pillahuincó (Norte - Centro)	192
Figura 8.30. Ejemplos de pendientes cóncavo-convexas y horizontales	194
Figura 8.31. Perfiles morfométricos transversales sobre el cordón Sierra de la Ventana	195
Figura 8.32. Tipos de vertientes y procesos asociados en el cordón Sierra de la Ventana	196
Figura 8.33. A) Deslizamiento en las vertientes cercanas a un curso de orden 2.	197
Figura 9.1. Mapa hidrogeomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande	200
Figura 9.2. Ensayos de infiltración. Instrumento: infiltrómetro de doble anillo	201
Figura 9.3. Diferentes grados y formas de diaclasamiento para los afloramientos rocosos que componen el Sistema de Ventania	202
Figura 9.4. Sectores de muestreo con media y baja capacidad de infiltración	203
Figura 9.5. Características de los cauces	204
Figura 9.6. Vegetación arbustiva y herbácea en los cauces	205
Figura 9.7. Tipos de corrientes de agua características del área.	206
Figura 9.8. Mapa hidrogeomorfológico del sector de nacientes del río Sauce Grande	208
Figura 9.9. Mapa hidrogeomorfológico del arroyo El Negro	210
Figura 9.10. Localización de los tramos del curso principal del río Sauce Grande para el análisis morfológico	212
Figura 9.11. Vegetación dentro del canal de crecida del río Sauce Grande en los diferentes tramos analizados	214
Figura 9.12. Clasificación de la forma en planta del canal y el cauce del río	215
Figura 9.13. Presencia de restos indicativos de la altura del agua en diferentes crecidas del río.	216

Figura 9.17. Esquema en planta y perfiles transversales en el tramo Peralta	217
Figura 9.15. Barranca izquierda del río Sauce Grande, donde se observa la sección media cubierta de vegetación y la sección superior de la Secuencia Agua Blanca. Corresponde al punto fotográfico 1 de la figura 9	218
Figura 9.16. Colapso de material de la barranca.	219
Figura 9.17. Vista de las dos márgenes del tramo Peralta desde el puente. La imagen superior corresponde a un período de caudal normal y la inferior a un periodo de crecida ordinaria	220
Figura 9.18. Puente nuevo que une Sierra de la Ventana con Villa Arcadia	221
Figura 9.19. Esquema y perfil transversal del tramo Pambianco, río Sauce Grande	222
Figura 9.20. Intercalación de gravas y arenas en la margen izquierda	223
Figura 10.1. A. Componentes del perfil transversal de un valle fluvial. Fuente: Modificado de Pedraza (1996). B. Fotografías ilustrativas de la variabilidad hidrológica del río Sauce Grande para diferentes años	226
Figura 10. 2. Imágenes tomadas del archivo del diario La Nueva Provincia del año 1944. Se observa la dimensión de la crecida del río Sauce Grande	228
Figura 10. 3. Mapa de isohietas para la tormenta del 6 y 7 de abril de 1944 elaborado por Posadas, 1944	229
Figura 10. 4. Resaca dejada por el flujo de agua no confinado en la crecida del 7 de octubre de 2003. Calles del barrio Valle Hermoso	231
Figura 10.5. Condiciones de calado (altura) y velocidad peligrosas para las personas. ZNPP: zona no peligrosa para las personas	231
Figura 10.6. Imágenes tomadas de la página web del diario La Nueva Provincia, 8 de octubre del 2003	232
Figura 10.7. Línea de altura de agua de la crecida de 2003 en el sector de piletas municipales	232
Figura 10.8. Situación meteorológica del día 6 de octubre de 2003	233
Figura 10.9. Situación meteorológica del día 7 de octubre de 2003	234
Figura 10.10 Situación meteorológica durante los días 8 y 9 de diciembre de 2003	235
Figura 10.11 Situación meteorológica del día 10 de octubre de 2003	236
Figura 10.12 Mapa de distribución de la precipitación acumulada del 6 al 7 de octubre de 2003	237
Figura 10.13. Puente entre villa La Arcadia y Sierra de la Ventana	240
Figura 10.14. Altura del agua en la crecida del 2003 en el sector denominado La Hoya (línea roja)	241
Figura 10.15. Altura del agua en la crecida del 2003 en el puente Peralta	241
Figura 10.16. Lugares esenciales de la localidad de Sierra de la Ventana	243
Figura 10.17. Usos del suelo de la localidad de Sierra de la Ventana	244
Figura 10.18. Porcentaje de ocupación las manzanas de la localidad de Sierra de la Ventana	246
Figura 10.19 Zonas inundadas por crecidas extraordinarias (1944 y 2003) en Sierra de la Ventana	247
Figura 10.20. Grado de exposición de parcelas en la localidad de Sierra de la Ventana	249

LISTA DE TABLAS

PARTE 2

Tabla 2.1. Parámetros e índices morfométricos calculados para cada sub-cuenca de la cuenca alta del río Sauce Grande	29
Tabla 3.1. Cantidad de habitantes por partido para el Suroeste de la provincia	62

PARTE 3

Tabla 5.1. Características de los suelos presentes en la cuenca alta del río Sauce Grande.	78
Tabla 6.1. Diferencias térmicas mensuales medias. Estación Sierra de la Ventana (1961-1980)	90
Tabla 6.2. Amplitudes térmicas para Sierra de la Ventana	91
Tabla 6.3. Numero medio de días con heladas para la estación de Sierra de la Ventana	91
Tabla 6.4. Temperaturas medias, maximas y mínimas medias y amplitudes térmicas para el año 2007 y 2008 en la cuenca alta del río Sauce Grande. Estación Nonthue	93
Tabla 6.5. Medias de centralización para la estación Nonthue	100
Tabla 6.6. Medias de dispersión para la estación Nonthue	100
Tabla 6.7. Máximos y mínimos de precipitación mensual. Período 1915-2005. Establecimiento Nonthue	101
Tabla 6.8. Valores estadísticos mensuales de las precipitaciones (1915-2005). Establecimiento Nonthue	102
Tabla 6.9. Frecuencia de precipitaciones mensuales según cada intervalo de clase. Período 1915-2005 estación Nonthue	103
Tabla 6.10. Categorías de las anomalías de precipitación de acuerdo con los valores de IPE	105
Tabla 6.11. Variación de la precipitación con la altura en mm	116
Tabla 6.12. Medidas de tendencia central y dispersión de los caudales medios mensuales	119
Tabla 6.13. Caudales máximos absolutos para cada mes en la estación de aforo del río Sauce Grande	130
Tabla 6.14. Medidas puntuales de caudal durante el año 2004 aguas arriba de los aforos anteriormente analizados	134
Tabla 6.15. Aforos directos en el río Sauce Grande 2009	134
Tabla 7.1. Número de segmentos de cauces según el orden jerárquico	137
Tabla 7.2. Relación de Bifurcación para las cuencas de estudio	144
Tabla 7.3. Longitud media de los cursos por orden y Relación de Longitud para las diferentes cuencas	147
Tabla 7.4. Cuencas ordenadas de menor a mayor superficie	148
Tabla 7.5. Razón de elongación para cada cuenca	149
Tabla 7.6. Valores de desnivel, pendiente media del curso principal, razón de relieve y relación del relieve para cada subcuenca analizada	152
Tabla 7.7. Valores de pendiente media para cada subcuenca	154
Tabla 7.8. Variables de intensidad fluvial para cada subcuenca de análisis.	159

PARTE 4

Figura 8.1. Cantidad de tipos de segmentos, cambios y rupturas para cada perfil morfométrico	184
Tabla 10.1. Planteo de problemas y posibles soluciones para la dimensión peligrosidad. Se anexa la incertidumbre emergente	239
Tabla 10.2. Planteo de problemas y posibles soluciones para la dimensión vulnerabilidad. Se anexa la incertidumbre emergente	239
Tabla 10.3. Planteo de problemas y posibles soluciones para la dimensión exposición. Se anexa la incertidumbre emergente	239

PARTE 1

En este apartado se realiza una reseña de la temática abordada en esta tesis conjuntamente con el planteo de hipótesis y objetivos. Se exponen los aspectos conceptuales que guiaron la elaboración y los materiales y métodos utilizados durante la investigación.

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1 Reseña de antecedentes y estado actual del conocimiento a escala global, nacional y regional

Las cuencas fluviales son sistemas complejos cuyas propiedades se definen a partir de la interrelación de características geomorfológicas, geológicas, climáticas, hidrográficas, biogeográficas, de uso del suelo, etc. Como unidades físicas actúan como marco para la planificación y gestión del territorio. Por lo que no sólo son consideradas desde el punto de vista de sus propiedades naturales sino también desde los distintos factores antropogénicos que intervienen en las mismas. Las cuencas hidrográficas, células constitutivas de las cuencas fluviales, son unidades hidrológicas que han sido analizadas y utilizadas como unidades físico-biológicas y también como unidades socio-económico-políticas para la planificación y ordenación de los recursos naturales (Sheng, 1992).

Las características de un sistema fluvial representan el producto final y la integración de todos los procesos que operan en el presente y que operaron en el pasado, incluyéndose aquellos procesos que directa o indirectamente han sido acelerados o retardados por la acción de las actividades humanas (Petts y Foster, 1985). El hombre es el primer agente modificador de los parámetros hidrográficos y a la vez el más afectado por las alteraciones y variaciones que se producen en el sistema natural.

La dinámica de los ríos y cursos de agua, elementos fundamentales en los paisajes terrestres, tienen gran importancia en la física medioambiental. Los procesos correlacionados con las cuencas se destacan por la variedad de objetivos físicos y humanos a los que afecta. Los rasgos dinámicos de los elementos fluviales en general, explicitados en los procesos, flujos, sedimentos, formas de los canales de drenaje y redes tienden a incrementar su concentración y organización y cambian constantemente (García-Ruiz *et al.*, 1987). El carácter y comportamiento del sistema fluvial de una cuenca es siempre complejo y refleja controles e interrelaciones de sus componentes (clima, geología, usos del suelo, cubierta vegetal, etc.). Juntos determinan la importancia de la descarga hídrica, el régimen hidrológico, las tasas de erosión, etc. y configuran la morfología dinámica de la cuenca.

Desde la Geografía es importante destacar este tipo de estudios que expresan características tanto físicas como ambientales que se desarrollan en una cuenca hidrográfica. En los últimos años desde la geografía física se han aumentado los estudios geomorfológicos e hidrográficos que ponen de manifiesto la gran diversidad de aspectos que involucran estos trabajos.

La estabilidad de los lechos de los ríos y los procesos fluviales asociados son también un problema geográfico de primer orden, en especial para el desarrollo y planificación de llanuras aluviales y para el control de los recursos hídricos. La gestión de los ríos para el suministro del agua tanto de uso doméstico como industrial constituye un problema ambiental muy delicado, en particular teniendo en cuenta el incremento constante de demanda de agua (Sala Sanjaume y Batalla Villanueva, 1996).

La geomorfología de un área juega un papel fundamental en los estudios hidrológicos, debido a su influencia en las características y dinámica de una cuenca hidrográfica. Existen numerosos estudios respecto a las características morfológicas y morfodinámicas de una cuenca realizados tanto en Europa como en América. Entre ellos se pueden citar autores como Gregory y Wallings, 1973; Strahler, 1964, 1974; Tricart, 1978; Knighton, 1984; Morisawa, 1985; Baker *et al.*, 1988; Leopold *et al.*, 1995; Schumm *et al.*, 1996; Guerra y González, 2002; Barbieri y Marchetti, 2003; Castro y Brignardello, 2005.

En Venezuela, Vivas (1966, 1970) desarrolló los métodos de investigación hidrogeomorfológica aplicados al estudio de una cuenca hidrográfica. Realizó estudios geomorfológicos para poder planificar la mejor utilización de los recursos aguas y tierras en una cuenca. Endlicher (1988) abordó la degradación del paisaje como un problema geoecológico, es decir, consideró las interrelaciones de factores y procesos geológicos, pedológicos, climáticos, así como también la intervención antropogénica en Chile. Distintos autores estudiaron los problemas erosivos dentro de las cuencas (Vivas, 1969; Palacio Prieto, 1990; López y Crespo, 1996).

A partir de 1960 el Centro de Geografía Aplicada de la Universidad de Estrasburgo (Francia) inició estudios en esta temática tanto en Francia, como en Africa y América del Sur. Tricart (1966) realizó la geomorfología del área de Muchíes en Venezuela. Ejemplo de otros estudios es el de Blanck (1969) donde aplicó métodos geomorfológicos, para contribuir a la solución de problemas hidroagrícolas en el valle medio del Níger.

En Chile se han realizado estudios sobre manejo de cuencas y gestión de los recursos hídricos desde su incorporación al Programa Hidrológico Internacional. Los estudios están orientados principalmente al análisis hidrogeomorfológico de cuencas para enfrentar su manejo integral, con vistas a planificar su desarrollo, al control de riesgos y peligro fluvial (Novoa Jerez, 1986, 1987; Allesch Laude, 1988, 1989-90; Peña Cortez, 1995).

Los estudios referidos a la morfología de cauces y los procesos fluviales tales como las avenidas y sus impactos se han incrementado en Europa (González, 1991; Camarasa, 1995; Bescos y Camarasa, 1998; Julián Andres y Chueca Cía, 1998; Diez Herrero, 2004; Morell Cuevas, 2001; Calvo-Cases *et al.*, 2003). En Estados Unidos y Canadá se realizaron estudios sobre las inundaciones incorporando a la mayoría de ellos distintos modelos hidrológicos (Elmoujahid, 1997; Simonovic, 1999; Ogden *et al.*, 2000; Alcántara-Ayala, 2002).

Los procesos en las vertientes de una cuenca, en particular los procesos erosivos que allí se desarrollan constituyen un problema medioambiental de primer orden. Estos procesos fueron estudiados por Teixeira y Gerardi (1992) en Brasil, los que realizaron cartografía específica utilizando SIG. Capri Junior y Alves Mendes (1992) profundizaron sobre el significado morfogenético de las mismas. Christoffoletti (1986/1987) estudió la variabilidad de temperaturas en función de las características de las vertientes. Hernández (1998) en Costa Rica expuso una metodología renovadora para la realización de mapas de vertientes. También en España se han realizado estudios de escorrentía superficial en vertientes para cuencas hidrográficas (Cevallos y Schnabel, 1997). Se han simulado los movimientos de vertientes en laboratorios franceses como los de la Escuela de Puentes y Calzadas en Cachan y los del Centro Nacional de Investigación Científica (CNRS) en Francia, donde se han estudiado con precisión parcelas testigos. Asimismo, el estudio de proceso en las laderas es un área de investigación dentro del International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC).

Las cuencas de drenaje son unidades fundamentales en el paisaje fluvial. Debido a que son entidades físicas se usan para medir el volumen de agua o sedimento producido para la escorrentía y la erosión. Por lo tanto, la descripción cuantitativa de cuencas a partir de la morfometría fluvial proporciona información aplicable al conocimiento de la dinámica, comportamiento hidrológico, análisis de la génesis y evolución de avenidas y determinación de procesos erosivos. Existen muchos autores que desarrollaron distintos índices y estudiaron los más aptos para caracterizar la dinámica del sistema (Horton, 1945; Morisawa, 1959; Shumm, 1964; Strahler, 1974; Jardí, 1985; Christoffoletti, 1986/1987; González, 1991; Senciales González, 1999; Gonçalves de Lima, 1999).

Desde William M. Davis (1850-1934) y sus seguidores Gilbert, Horton, Strahler, Colman, Leopold y Schumm sumados a los numerosos estudios citados anteriormente se fue consolidando una nueva rama de la geomorfología, la geomorfología fluvial. Esta tiene

como objetivo el estudio de las formas de la superficie terrestre de origen fluvial. Lo importante de esta disciplina es la interpretación y el conocimiento de los procesos fluviales que generan y modifican las formas del paisaje (Marchetti, 2000).

La expresión gráfica de los estudios geomorfológicos es el mapa geomorfológico. El mismo permite la lectura clara y precisa de datos que pueden servir a la planificación territorial, la agricultura y el sector forestal, obras de ingeniería civil y de infraestructura de transportes y comunicaciones, obras hidráulicas y cualquier otra investigación en la que esté implicado el medio ambiente (Peña Monné, 1997). Muchos autores internacionales han realizado y están realizando estudios sobre este tema. Borgel (1964) realizó una carta geomorfológica de Chile. Ottmann y Tricart (1966) aplicaron la carta geomorfológica detallada al estudio de vertientes. Vivas (1968) detalló la forma de utilización de los mapas para aprovechamiento de recursos naturales y planificación del espacio en Venezuela. En Colombia Usselman (1983) explicó los rasgos geomorfológicos de una cuenca a partir del mapa geomorfológico. Otro ejemplo es el mapa geomorfológico del occidente de la cuenca de México, realizado por Hubp (1990). Los mapas geomorfológicos, preferentemente del tipo analítico y los mapas hidrogeomorfológicos constituyen elementos indispensables en los proyectos para el desarrollo y la conservación del recurso del suelo y de agua (Verstappen, 1964).

En Argentina los trabajos hidrográficos y geomorfológicos son abundantes y en los últimos años se evidencia un aumento de los mismos con el fin de contribuir al ordenamiento y gestión del territorio principalmente desde un punto de vista ambiental. En la provincia de Buenos Aires se han realizado trabajos geohidrológicos y de hidrografía general (Frenguelli, 1956; García y García, 1964, Marchetti, 1968). Los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires fueron estudiados por Hernández *et al.* (1975); Sala (1969, 1975, 1980, 1981); Sala *et al.* (1983) enfatizó su investigación sobre la hidrología de la provincia de Buenos Aires en la zona de llanura. Tricart (1973) realizó estudios sobre la llanura bonaerense desde este punto de vista. Sin embargo, no son muchos los trabajos donde la elaboración de la carta geomorfológica sea el objetivo principal (Rabassa, 1979; Mikkan *et al.*, 2001; Martín-Serrano *et al.*, 2004; Mikkan, 2007a). Mikkan (2007b) pone en evidencia que, tanto la cartografía geomorfológica como la hidrogeomorfológica, permiten el estudio sistémico de las cuencas hidrográficas con el fin de ser aplicadas a estudios de riesgos. En el Suroeste de la provincia de Buenos Aires se destacan principalmente los trabajos de Bidart (1987) y González Uriarte *et al.* (1988) y González Uriarte y Navarro (1988) quienes realizan cartografía geomorfológica y se destacan aspectos morfológicos y geológicos.

Los rasgos distintivos de la circulación atmosférica zonal y regional que afectan a la zona de transición climática del Suroeste bonaerense fueron estudiados por Capelli y Campo (1994) y Campo de Ferreras *et al.* (2004). Sobre aspectos relacionados con características climáticas se precisaron diferenciaciones espaciales a gran escala, cabe destacar los trabajos realizados por Capelli de Steffens *et al.* (1992, 2000), Campo de Ferreras *et al.* (2004); Campo y Gil (2004) y Zapperi *et al.* (2007). Por otra parte, se han realizado estudios sobre fitogeografía que permiten comprender procesos y patrones de distribución de la vegetación y los factores que los causan y mantienen en el Sur de la provincia de Buenos Aires (Petagna de Del Río, 2000, 2002; Benedetti y Campo de Ferreras, 2002). Se reconocieron también aspectos vinculados con la biogeografía que contribuyen a un conocimiento integrado del área (Kristensen 1992; Kristensen y Frangi, 1995; Lizzi, 2007; Benedetti y Campo, 2007). Gil y Campo de Ferreras, 2000, 2006; Casado *et al.*, 2005, 2007 realizaron avances en estudios geomorfológicos aplicados relacionados con peligros hidrometeorológicos a escala local.

En el Suroeste de la provincia de Buenos Aires se realizaron varios estudios sobre diferentes cursos fluviales como por ejemplo el del río Quequén Grande (Campo, 1999; Campo y Píccolo, 1997 a,b,c,d, 1998, 1999; Campo y Diez, 1999) donde se plantea por primera vez, la problemática en forma integral de una cuenca de llanura. Marini (2002) realiza un estudio hidrográfico de la cuenca del río Quequén Salado. En estos trabajos se han realizado cartas hidrogeomorfológicas con el fin de caracterizar más profundamente las distintas áreas. Los problemas de inundaciones y sus consecuencias tanto en el deterioro ambiental como en la economía son estudios muy recientes para la provincia (Monachesi, 1993; Selles Martínez y Carletto, 1990).

En particular para el área del estudio se han realizado diferentes investigaciones desde varias disciplinas. Estos estudios son muy puntuales y domina el enfoque geológico (Harrington, 1947; Varela y Cingolani, 1975; Varela, 1978; Rabassa, 1982; Varela *et al.*, 1985; Bidart, 1987; Andreis *et al.*, 1989; Von Gosen *et al.*, 1991; González Uriarte *et al.*, 1988; Zabala y Quattrocchio, 2001; Demoulin *et al.*, 2005). Asimismo, trabajos muy focalizados sobre hidrogeología de algunos sectores del sistema de Ventania fueron realizados por Luque *et al.* (1979); Bonorino (1991); Albouy (1994); Giusso *et al.* (1995) y Bonorino *et al.* (2001), entre otros. Los mismos no desarrollan las características detalladas de las cuencas en cuanto a aguas superficiales, tan importantes para determinar la dinámica

de las mismas. En los últimos años se ha avanzado sobre la temática hidroclimática y geomorfológica del Suroeste bonaerense.

1.2. Localización del área de estudio

A escala nacional, la zona de estudio se enmarca dentro de la llanura pampeana la cual posee aproximadamente 1.000 km de desarrollo latitudinal, extendiéndose entre los

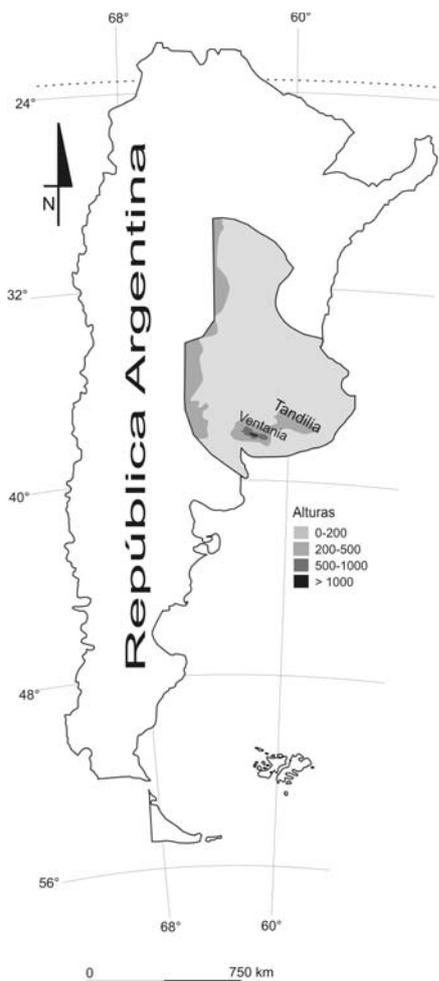


Figura 1.1. La llanura pampeana y sistemas serranos

31° y 39° de latitud Sur (Fig. 1.1). Cabrera (1976) describe la estructura de la vegetación natural de esta región definiéndola como un dominio de la estepa gramínea. Por el poco declive del terreno, las aguas se acumulan en zonas bajas dando lugar a comunidades edáficas hidrófitas y palustres. Existe naturalmente un predominio absoluto de gramíneas y ausencia de árboles (Campo de Ferreras y Piccolo, 1999; Benedetti y Campo de Ferreras, 2002). Al presente, este paisaje se encuentra modificado debido a la introducción de árboles exóticos, la urbanización, las vías de comunicación, obras de ingeniería y como consecuencia de las actividades agrícolas ganaderas desarrolladas en esta región.

Al Sur de la llanura pampeana se diferencian dos sistemas serranos, ubicados en la provincia de Buenos Aires: el Sistema de Ventania y el Sistema de Tandilia. El primero, también denominado Sierras Australes, forma un conjunto de elevaciones bien definidas en sentido Noroeste - Sureste, tiene unos 175 km de longitud y alcanza un ancho máximo de 50 km (Harrington, 1947). El núcleo del sistema está conformado por rocas cuarcíticas fuertemente plegadas que apoyan sobre un basamento cristalino del Precámbrico el cual se manifiesta mediante afloramientos graníticos reducidos, mientras que el resto del área está cubierta por sedimentos loésicos y limo-arcillo-arenosos del Cuaternario.

En él pueden distinguirse dos zonas distintas, claramente diferenciables. Una occidental, que comprende a las Sierras de Puán, Curamalal, Bravard y Ventana y otra oriental formada por las Sierras de las Tunas y de Pillahuincó (Harrington, 1947). Estas sierras forman la mayor divisoria de aguas en este sector de la provincia. Dan origen a varios cursos de agua que forman cuencas endorreicas y exorreicas con desembocadura estas últimas en el Océano Atlántico. El drenaje de las sierras se encuentra constituido por nueve cuencas vertientes principales (Fig. 1.2). Estas se conforman a través de los cursos que desembocan en la laguna Chasicó y laguna de Unamuno, ambas endorreicas; estuario de Bahía Blanca, mar Argentino en el Océano Atlántico y Encadenadas del Oeste. Todas se alimentan exclusivamente de la lluvia caída en sus cuencas, por lo cual su caudal está condicionado a las épocas de sequía o exceso de agua.

Entre los cursos que drenan por el Sur del sistema y desembocan en el Océano Atlántico se destacan:

El río Sauce Chico (área de la cuenca: 1.600 km²) con nacientes en el Cordón de Bravard. Drena las laderas Oeste del mismo y su curso principal discurre por un valle interserrano. Recibe afluentes del cordón Curamalal y Ventana y se extiende por la llanura hasta desembocar en el estuario de Bahía Blanca en proximidades de la localidad de General D. Cerri.

El arroyo Napostá Grande (área de la cuenca: 1.450 km²) que nace en proximidades del cerro Tres Picos y Napostá y drena la vertiente Oeste del cordón de Ventana, tras atravesar la llanura desemboca también en el estuario de Bahía Blanca. Cruza la ciudad de Bahía Blanca donde un tramo del mismo se encuentra entubado.

El río Sauce Grande (área de la cuenca: 4.610 km²) nace en el cordón de Ventana, drena las laderas de vertiente Este y recibe en su trayecto varios afluentes del cordón de las Tunas y Pillahuincó por su margen izquierda y del cordón de Ventana por la margen derecha. El paisaje que caracteriza las cabeceras de las cuencas es similar y predominan campos de cultivo en los valles. Sobre sus márgenes se encuentran espacios de uso urbano, destacándose Villa Ventana, Sierra de la Ventana, Saldungaray. También se observan espacios de uso rural principalmente estancias. Se destaca la presencia de dos Áreas Protegidas, el Parque Provincial Ernesto Tornquist localizado en el sector Noroeste de la cuenca y el Parque Provincial Paso de las Piedras ubicado en el sector alto-medio de la cuenca.

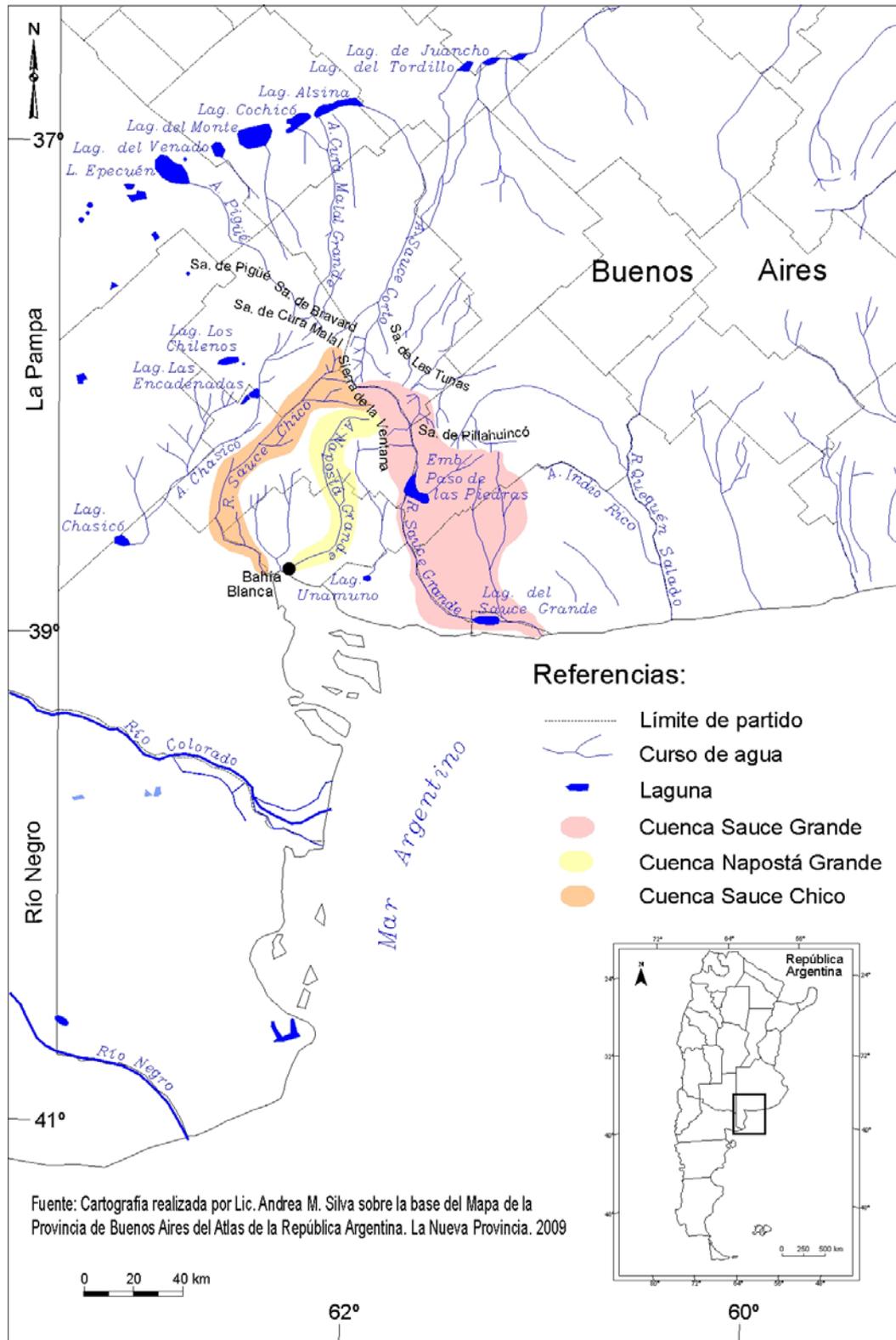


Figura 1.2. Sistema serrano y principales cuencas de drenaje

1.3. Presentación y justificación de la problemática a investigar

La variabilidad climática en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires es elevada debido a la natural sucesión de períodos muy húmedos y muy secos. En el primer caso se producen inundaciones por desbordes de ríos o por crecimiento del sistema lagunar y en los períodos secos la escasez de agua produce bajos o nulos rendimientos en las cosechas, dificultades de abastecimiento de agua potable y se incrementan los procesos de desertificación. Estas problemáticas recurrentes afectan el desarrollo económico en general ya que la población tiene poca capacidad de recuperación ante este tipo de eventos. La planificación es incipiente y la gestión del riesgo muy localizada, lo cual agrava la vulnerabilidad de la sociedad involucrada. De esta manera el agua, en sus dos facetas, como recurso o como riesgo se vuelve el eje central a partir del cual giran muchos estudios y proyectos, tanto para su aprovechamiento como para su control.

Dentro de este marco se encuentra la cuenca del río Sauce Grande, una de las principales cuencas del Suroeste de la provincia de Buenos Aires. El paisaje de la misma queda definido por la interrelación hombre-medio destacándose, el cordón serrano y los cursos de agua que allí se generan y las diferentes actividades económicas vinculadas a la ganadería y la agricultura, las actividades turísticas y de conservación, los centros urbanos y el embalse realizado para la provisión de agua potable. La combinación de los factores hidrometeorológicos y geomorfológicos es la principal causa generadora de la dinámica fluvial en esta cuenca. En ella, interviene la sociedad para el uso de los recursos, donde un claro ejemplo de ello es la construcción del embalse dique Paso de las Piedras en el tramo alto-medio de la cuenca. El nuevo cuerpo de agua afectó la dinámica del sistema al generar un nuevo nivel de base para la parte alta de la misma y la regulación del caudal para el sector medio y bajo.

En la cuenca alta del río Sauce Grande se producen crecidas intensas de los arroyos. Las mismas están provocadas por lluvias torrenciales de baja frecuencia y afectan a las tres localidades turísticas situadas en las márgenes de los cursos de agua. Las crecidas que se produjeron en el año 2000, 2002 y 2003 fueron las situaciones disparadoras que motivaron el desarrollo de esta tesis. Las mismas ocasionaron aislamiento temporario de zonas pobladas, inundación de áreas de acampe y recreativas, inundación de sectores urbanos aledaños al curso principal de río, evacuación de personas y se registraron pérdidas tanto humanas como económicas.

Es necesario, por lo dicho anteriormente, conocer las características y dinámica del sistema natural (clima, geomorfología, hidrografía, etc) y social así como los mecanismos de interrelación que se generan entre las partes. De ahí la necesidad de retomar en la investigación geográfica esa filosofía integrada en la que se estudia el sistema mediante un triple análisis: configuracional, dinámico y proceso-respuesta. Es precisamente en esta línea en la que se enmarca la tesis y se justifica la elección de su temática.

Las corrientes fluviales han sido entendidas y estudiadas como sistemas abiertos, dinámicos y complejos desde la publicación a finales de la década de 1970 del libro *The Fluvial System* (Schumm, 1977). Los antecedentes de la visión sistémica aplicada al análisis geomorfológico de los ríos, arroyos y demás elementos de la red de drenaje se remontan a los trabajos geomorfológicos e hidrológicos de principios de siglo XX, cuando figuras como Horton y Strahler sentaron las bases de la morfometría de cuencas.

La geomorfología aplicada a la ordenación del territorio requiere de un contexto metodológico claro. Por otra parte y considerando que el medio físico es el sostenedor y sustentador de las actividades humanas, el análisis geomorfológico permite definir si el medio natural es capaz de acoger diferentes actividades. Asimismo, la mayoría de los sistemas fluviales no están en una situación “natural” sino que están modificados por las actividades humanas desde largo tiempo, lo cual produce mayor complejidad en las interrelaciones, en su interpretación y en su síntesis (Castro y Brignardello, 2005).

Sobre la base de lo expuesto anteriormente el presente estudio se fundamenta en el análisis geográfico integrado que consiste en un reconocimiento y diagnóstico de los procesos climáticos, meteorológicos, hidrográficos, geomorfológicos y antropogénicos orientados a determinar la sensibilidad intrínseca del sistema. Esto permite identificar espacios a proteger o bien conservar, incluidos aquellos que es necesario recuperar y también los espacios cuyos usos deben ser restringidos gradualmente por su grado de peligrosidad.

1.4. Hipótesis de trabajo

Las problemáticas planteadas para el área de estudio dieron origen a la elaboración de diferentes hipótesis que fueron las que guiaron la tarea de investigación.

Las características geomorfológicas, hídricas, climáticas y la disposición morfográfica conforman el comportamiento hídrico dinámico diferencial en laderas opuestas del Sistema

de Ventania y repercuten en la ocurrencia y magnitud de los eventos de avenidas, así como en las características de torrencialidad ante sucesos hidrometeorológicos extremos.

El estudio integrado de las variables constitutivas del medio ambiente natural, mediante el análisis hidrográfico y geomorfológico en relación con las actividades antropogénicas proporciona las bases para la planificación y gestión de cuencas.

1.5. Objetivos de la tesis

1.5.1. Objetivo general

El objetivo general de la investigación es estudiar la hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas y su relación con las diferentes actividades antropogénicas que se desarrollan en el área.

1.5.2. Objetivos específicos

- Determinar las características hidrográficas y geomorfológicas de las cuencas hídricas que componen la cuenca alta del río Sauce Grande.
- Identificar y definir las características climatológicas en el Sistema de Ventania Austral.
- Definir las características morfométricas de las sub-cuencas para establecer dinámicas diferenciales.
- Caracterizar la red hidrográfica sobre la base de parámetros geomorfológicos.
- Identificar y caracterizar procesos de vertientes para las áreas serranas.
- Estudiar la geomorfología del área de la cuenca y la hidrogeomorfología de las sub-cuencas con mayor influencia en la generación de crecidas.
- Estudiar la distribución de caudales y determinar los máximos de crecida.
- Establecer áreas de exposición y peligro de inundación ante sucesos de avenidas en la localidad Sierra de la Ventana.

CAPITULO 2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

2.1. ASPECTOS CONCEPTUALES QUE GUIAN LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. La Geografía Física dentro de la disciplina geográfica

Lo específico, lo importante, lo primero y lo último en geografía es geográfico y está constituido por las relaciones que guardan los hechos originales en la esfera física (litósfera, atmósfera, hidrósfera) con los de la biológica y humana (biósfera) (Zamorano *et al.*, 1968). Los procesos que interactúan entre y dentro de las mismas son variados y complejos, estableciéndose diferentes relaciones y grado de interdependencia entre las esferas. Estas relaciones son dinámicas, cambiantes y están dadas en la naturaleza. Por ello, no sólo interesa descubrirlas sino también explicarlas. Uno de los enfoques que aborda el análisis de la manera en que los componentes están estructurados dentro de cada esfera y cómo se relacionan, es el sistémico. Pero para comprender las relaciones entre los distintos componentes del sistema es necesario abordarlos por separado. Así, es perfectamente válido que quien aborda un problema geomorfológico, hidrográfico o climático lo profundice con todo rigor posible dentro de las normas del método geográfico ya que lo prepara para referirlo a una situación humana. Aquí juega un papel importante una de las ramas de la geografía que es la Geografía Física (Zamorano *et al.*, 1968 y Capitanelli, 1998).

Actualmente la Geografía Física estudia principalmente los procesos y éstos la han conducido a un enfoque medio ambiental donde se unen ciencia y servicio a los intereses del hombre. Cada una de sus ramas (Climatología, Biogeografía, Geomorfología, Hidrografía) ha experimentado en las últimas décadas un incremento en especialización y paralelamente se ha producido un mayor énfasis en el estudio de procesos dentro de todas las especialidades.

2.1.2. El ciclo hidrológico

“El agua de los océanos, de la atmósfera y de las tierras modifica tanto su localización geográfica como su estado físico, en una serie de cambios continuos que configuran el ciclo hidrológico” (Strahler, 1989: 170). Este colecta, purifica y distribuye el abasto fijo del agua de la Tierra y está enlazado con los otros ciclos biogeoquímicos (Tyler Miller, 1994). A pesar de que el concepto de ciclo hidrológico es simple el fenómeno es complejo e intrincado. El mismo está compuesto por ciclos interrelacionados

de diferente extensión (Chow *et al.*, 1994). En su tramo continental, está generalmente referido a una cuenca hidrográfica. La misma constituye un sistema abierto donde, la precipitación que no se infiltra en el terreno, se evapora, puede permanecer sobre el suelo como agua superficial o fluir por la red hidrográfica llegando, o no, al mar.

Las sociedades humanas modifican el ciclo del agua de dos maneras diferentes. En forma directa, retirando grandes cantidades de agua dulce de las corrientes, lagos y acuíferos e indirectamente, mediante la tala de árboles con el objeto de abrir campos para la agricultura, caminos, etc. Esta última acción reduce, significativamente la cantidad de agua disponible para el proceso de infiltración a través del cual se recargan las reservas subterráneas, acentuándose entre otras manifestaciones, la intensidad del escurrimiento en la superficie.

Es un hecho conocido que conforme crecen las ciudades y sus demandas de agua aumentan, deben construirse embalses, depósitos y canales de alto costo y perforar para obtener el recurso desde los horizontes freáticos. Esta enorme transferencia de agua a las áreas urbanas disminuye las reservas superficiales y a veces agota las subterráneas o freáticas con mayor rapidez de lo que se reponen. En consecuencia, se podría afirmar que en reiteradas oportunidades, tales intervenciones de la sociedad al ciclo del agua junto con las irregularidades naturales del mismo, en espacios pequeños, agravan las situaciones de escasez para uso de la población y aumentan la amenaza de inundaciones.

2.1.3. La cuenca hidrográfica como unidad sistémica

La cuenca hidrográfica como unidad de estudio es usada por varias disciplinas donde sea necesario un límite de áreas desde el punto de vista natural. Asimismo, posee características que le son propias y que la hacen preferible a cualquier otra unidad de división: permanencia en el tiempo e interrelación entre los componentes que la conforma (Romero Diaz 1989). Según lo indica Richards (1982) en los paisajes erosionados por el agua, la meteorización de la roca y la transferencia de sedimentos ocurren bajo la acción del agua mientras se mueven por las fases del ciclo hidrológico y como resultado la cuenca de drenaje ha sido considerada una unidad geomorfológica fundamental. Como unidad de análisis y considerada como un sistema la cuenca requiere de un estudio previo de las variables que la componen. Todas ellas interrelacionadas influyen en el comportamiento dinámico, en las formas de modelado y contribuyen a la generación de riesgos (Fig. 2.1).

Como se mencionó, Sheng (1992) desde un punto de vista técnico, define una cuenca hidrográfica como una zona delimitada topográficamente que desagua mediante un sistema fluvial. La considera como unidad hidrológica que es descripta y utilizada como una unidad físico-biológica y también, en varias ocasiones, como unidad socio-económico-política para la planificación y ordenación de los recursos naturales.

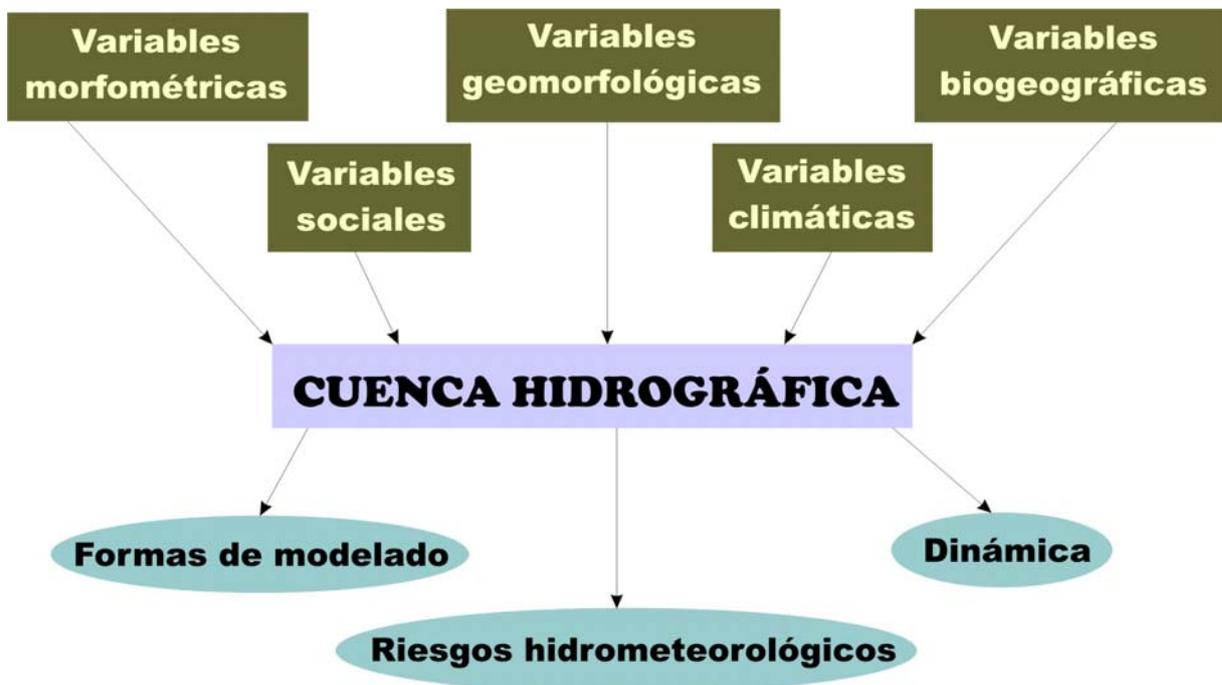


Figura 2.1. La cuenca hidrográfica como unidad de análisis

Una de las premisas fundamentales es considerar la cuenca como un sistema abierto que recibe energía y materia del clima y procesos endogenéticos y la pierde a través del caudal y la carga de sedimentos (Gregory y Walling en Senciales González, 1999). El concepto de sistema ha sido asimilado con facilidad debido a que la idea de ciclo hidrológico ya conduce a él. Si bien desde un punto de vista científico es útil estudiar la cuenca como sistema, también lo es a los fines prácticos y aplicados.

Conceptualmente se puede definir una cuenca hidrográfica o de drenaje como un sistema abierto, naturalmente delimitado y permanente en la escala temporal humana, donde existen interacciones y relaciones de dependencia de los elementos naturales y sociales que la componen.

Para una mejor comprensión tanto desde el punto de vista conceptual y técnico de los fenómenos como de los procesos que determinan el funcionamiento de estos espacios, se puede realizar una estructuración de cuencas según las escalas de trabajo. La cuenca fluvial puede contener centenares de cuencas hidrográficas. Asimismo la cuenca hidrográfica (o de drenaje) se puede dividir en subcuencas y microcuencas. Esta jerarquización permite estudios a escalas zonales, regionales y locales (Allesch Laude, 1989 - 1990 y Sheng, 1992).

2.1.4. El sistema morfogenético fluvial

Las investigaciones que aborden temas fluviales deben hacerlo desde una perspectiva integrada, esto es, considerando sus elementos en el análisis y realizando síntesis con las relaciones. El abordaje desde la perspectiva de sistemas morfogenéticos proceso-respuesta pareciera ser el más indicado ya que no sólo toma en cuenta las variables naturales sino las antropogénicas (Diez Herrero, 2004).

La geomorfología fluvial (o hidrogeomorfología) tiene un papel relevante en la génesis y propagación de las crecidas y avenidas fluviales, así como en sus efectos de inundación por anegamiento de las márgenes. Se ocupa de estudiar e interpretar las formas de la superficie terrestre de origen fluvial, dicho en otros términos, se interesa por el sistema morfogenético fluvial. Este sistema comprende las formas y procesos del modelado que se determinan a partir de la acción del agua superficial principalmente la encauzada. Esta última constituye el principal agente del modelado. Los agentes del modelado, en general contribuyen a una progresiva erosión y aplanamiento del relieve preexistente (Diez Herrero, 2004; Moya *et al.*, 1998; Marchetti, 2000).

El modelado en el sistema morfogenético fluvial depende de las condiciones climáticas y de los factores estructurales. Las primeras, afectan el modo de alimentación de los ríos y el caudal de los mismos, favorecen la instauración de procesos de meteorización química o física, influyen en el crecimiento de determinada vegetación y su densidad y condiciona el desarrollo del suelo. Los segundos, están ligados al sustrato a través del cual escurre el agua superficial y a la energía del relieve. Estos se pueden dividir en la tectónica y la litología. La tectónica influye en la energía del relieve, condiciona la velocidad del agua a través de la orogénesis y epirogénesis y condiciona la configuración de la red de drenaje. Por otro lado, la litología, es importante debido a que la composición, cohesión y resistencia marcan el comportamiento del sistema fluvial. Por

lo tanto, la influencia de estos factores determinan los procesos que caracterizan al sistema morfogenético fluvial (Marchetti, 2000; Panizza, 2002).

2.1.5. Riesgos naturales

Los conceptos y la terminología relacionada con la definición de riesgo son complejos, han variado en el tiempo y han sido diferentes dependiendo de la disciplina desde la cual se aborda el tema (López Cerezo y Luján López, 2000; Cardona, 2001; Natenzon *et al.*, 2003).

En el análisis conceptual actual y bajo la mirada de “la sociedad del riesgo” planteada por primera vez por Ulrich Beck para designar a la sociedad moderna, surgen nuevos binomios que le dan al concepto de riesgo una clara naturaleza social. Entre ellos, riesgo-responsabilidad; riesgo-seguridad; riesgo–peligro; riesgo-arrepentimiento; riesgo-decisión (López Cerezo y Luján López, 2000). Por otra parte, Natenzon *et al.* (2003) explica que el riesgo como categoría social involucra en su construcción la forma de organización de la sociedad con sus normas, valores, creencias y su estructura política, socioeconómica y jurídica. El riesgo se relaciona con la probabilidad de que surjan resultados imprevistos o consecuencias poco anticipables derivadas de las decisiones, omisiones o acciones de los grupos sociales.

Para poder abordar esta complejidad y acercarse a una evaluación del riesgo ante un evento natural desde la teoría social del riesgo se proponen cuatro dimensiones básicas, siguiendo la propuesta de Natenzon (2003). En la explicación de lo que se entiende por cada una de ellas se combina la lectura de la diversa y variada bibliografía relacionada con el riesgo.

Peligrosidad o amenaza: Se entiende como un factor de riesgo externo de un elemento o grupo de elementos expuestos y se expresa como la probabilidad de que un suceso se presente con cierta intensidad, en un sitio específico y dentro de un periodo de tiempo definido. Puede ser de origen natural o tecnológico y es el aspecto físico – natural del riesgo estudiado principalmente por las ciencias naturales, físicas e ingenieriles. El mayor conocimiento del peligro permite interpretarlo y obrar en consecuencia para evitar impactos negativos (Cardona, 2003; Blaikie *et al.*, 1996).

Exposición: El término según González y Natenzon (2002) se refiere a la distribución espacial de personas y bienes potencialmente susceptibles de ser afectados por la

peligrosidad. En términos de Wilchex-Chaux (1993) sería vulnerabilidad física, mientras que Cardona (2003) se refiere a la exposición como fragilidad física. D'Ercole y Metzger (2002), introducen el concepto de "lugar esencial" al análisis de los elementos expuestos ante un peligro. Los autores explican que se debe poder determinar, en medio de todos los elementos expuestos y que son importantes, lo que es esencial (elemento del sistema territorial cuya pérdida sería más perjudicial para el conjunto de la población). A su vez, Natenzon (2007) explica que esta componente tiene una expresión territorial que es la construcción histórica que entrelaza los procesos naturales con las relaciones socio-económicas y así configuran determinados usos de suelo y distribución de infraestructura entre otros.

Al tener una expresión en el territorio es posible de cartografiar por lo cual se puede realizar un análisis geográfico de esta componente. Surge aquí el análisis desde el punto de vista del ordenamiento territorial que permitirá una visión dinámica a lo representado en el plano. En esta tesis se usará la acepción exposición introduciendo la visión de "lugares esenciales" al análisis.

Vulnerabilidad: Desde el punto de vista de las catástrofes Blaikie *et al.* (1996: 7) define a la vulnerabilidad como:

"...las características de una persona o grupo desde el punto de vista de su capacidad para anticipar, sobrevivir, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza natural."

Es la situación previa de las estructuras sociales a la ocurrencia de un evento catastrófico. Se caracteriza por ser dinámica ya que es consecuencia de las condiciones sociales, económicas, culturales, institucionales, educativas que posee una comunidad. La vulnerabilidad es el resultado de un proceso histórico por lo cual está en permanente cambio y construcción. Para su análisis es importante tener en cuenta las heterogeneidades de la sociedad involucrada ya que determinan en gran medida las consecuencias negativas de la peligrosidad. Este componente del riesgo se ha tendido a complejizar. En los últimos años el desempleo, los bajos o nulos niveles de educación, la pérdida de los valores culturales y de la memoria sobre desastres, el desarraigo, el desmantelamiento de la vida comunitaria y la cada vez más lejana posibilidad de lograr formas de subsistencia estables y adecuadas, entre otros factores, han hecho a la población más vulnerable frente a todo tipo de amenazas (Mansilla, 2000; González y Natenzon, 2002; Natenzon *et al.*, 2003; Natenzon, 2007).

Para evaluar la vulnerabilidad es necesario el estudio de aspectos socioeconómicos. Se han determinado ámbitos de acuerdo con la propuesta de Wilches-Chaux (1993) para separar y ordenar el estudio y también se han desarrollado índices que combinan indicadores basándose en la premisa de disponibilidad pública de los datos que se necesitaban (Natenzon *et al.*, 2003).

Incertidumbre: Esta cuarta dimensión está relacionada con los aspectos políticos y la percepción, valores e intereses de la sociedad involucrada en el riesgo. Al no haber pleno conocimiento ni certeza en el análisis de las tres dimensiones anteriormente explicadas, surge la incertidumbre. Esta, involucra dimensiones no cuantificables del riesgo. El diagnóstico de la incertidumbre o grado de desconocimiento permite mejorar la calidad de las decisiones que se toman, diseñar nuevas estrategias o normas (Natenzon *et al.*, 2003; Natenzon, 2007, 2008).

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realiza con un enfoque metodológico que permite realizar planteos para una gestión y manejo adecuado de la cuenca en general y en sectores en particular. Para la concreción de los objetivos propuestos se aplicó de forma integrada, diferentes técnicas y métodos. La recopilación de información disponible tanto general como específica constituyó el punto de partida de esta tesis. En este apartado se detallan aspectos generales, los métodos particulares de cada tema de análisis se abordan en cada capítulo.

2.2.1. Bibliografía

La búsqueda y revisión bibliográfica fue realizada en distintas bibliotecas públicas y privadas de Bahía Blanca y localidades de la zona de estudio. En especial se consultaron las bibliotecas y hemerotecas dependientes de la Universidad Nacional del Sur, la Biblioteca de Geografía de la Universidad Nacional de Cuyo, la biblioteca de ciencias de la Università degli Studi di Firenze, la biblioteca del Centro Panamericano de Estudios e Investigaciones Geográficas entre otras. Se examinaron publicaciones periódicas de revistas especializadas en geomorfología, hidrografía, hidrología y geografía tanto nacionales como internacionales. En las bibliotecas nacionales consultadas se observó una carencia en la disponibilidad de revistas o bien algunas de las colecciones existentes no actualizadas. Parte de la bibliografía se obtuvo de contactos personales o electrónicos con los autores lo cual permitió una mayor cobertura de los

temas tratados, principalmente en el área regional. Asimismo la consulta de bases documentales en Internet fue de suma importancia para completar el relevamiento de información en constante actualización. Se realizó también un seguimiento en la prensa local (La Nueva Provincia, El Observador Serrano) de hechos vinculados con el tema de estudio para apreciar la repercusión que los mismos tuvieron en la población.

2.2.2. Cartografía temática y Sistema de Información Geográfica

Para la recopilación de cartografía básica se recurrió principalmente al Departamento de Geografía y Turismo de la Universidad Nacional del Sur, al Instituto Geográfico Militar (IGM), al Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) y al Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Las cartas y escalas utilizadas para el área de estudio fueron:

Cartas Topográficas (IGM) a escala 1:500.000, 1:100.000 y 1:50.000

Cartas Geológicas (SEGEMAR) a escala 1:200.000

Carta Imagen (IGM) a escala 1:100.000 y 1:250.000

Carta de Suelo (INTA, 1989) a escala 1:500.000

Se utilizó un Sistema de Información Geográfica (SIG) con el objeto de facilitar el manejo de información, agilizar los cálculos y elaborar cartografía temática. El mismo se entiende como un conjunto de herramientas para la adquisición, almacenamiento, análisis y edición de información espacial asociada a una base de datos georreferenciada. La aplicación de esta metodología es de origen sistémica y se orienta a la generación de modelos territoriales que facilitan el análisis geográfico. Se parte de un mundo real donde se abstraen las variables necesarias y se llega a un modelo espacial de datos.

Si bien la información cartográfica básica y temática posee diferentes escalas que fueron utilizadas para diferentes propósitos en este trabajo, se eligió para la digitalización de las entidades espaciales las cartas topográficas 1:50.000. El proceso de conversión de esta fuente analógica al entorno digital se realizó con scanner a una resolución de 300 dpi (máxima permitida por el scanner comercial utilizado). Para llevar a cabo la digitalización de las variables espaciales se utilizó el programa ArcView (ESRI, versión 3.2), junto con la extensión Image Analisis (extensión que permite la georreferenciación de imágenes). Las coordenadas utilizadas para la georreferenciación fueron las Gauss-Kruger (faja 4) cuyo Datum para la cartografía oficial existente en la República Argentina es Campo Inchauspe que tiene como elipsoide el Internacional de 1924. Posteriormente,

se realizó la migración de los archivos para su uso en ArcGIS 9.1. El mismo permitió la elaboración del 90 % de la cartografía realizada en esta tesis.

Las variables digitalizadas a esta escala fueron curvas de nivel, variables socio-económicas, red hidrográfica y cuerpos de agua (Fig. 2.2). Asimismo, se fueron incorporando diferentes capas temáticas dependiendo de las necesidades y objetivos del trabajo. Las curvas de nivel presentan una equidistancia variable de acuerdo con la topografía. Para el trabajo en general se utilizó la equidistancia 50 m y para casos particulares se utilizó equidistancias de 25 y 10 m. La red hidrográfica se digitalizó por segmentos siguiendo el orden correspondiente al método de jerarquización de una cuenca de Strahler (1964). Para cada uno de los órdenes se digitalizó la correspondiente cuenca. Se obtiene de esta manera toda la información necesaria para poder realizar los cálculos morfométricos tratados en el capítulo 7. Se configuró así la cuenca alta del río

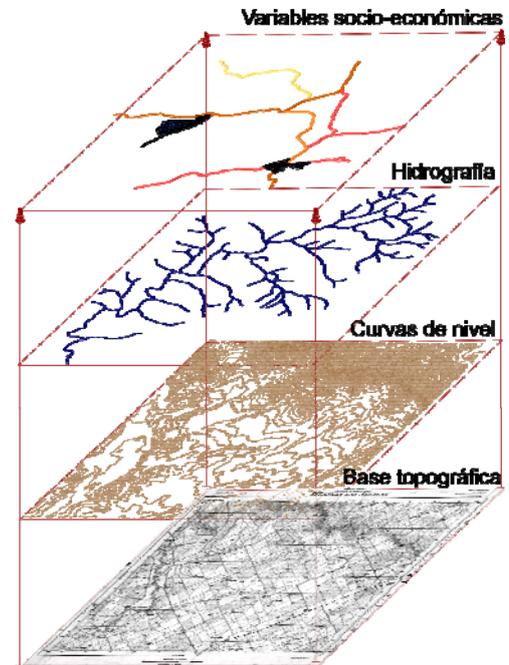


Figura 2.2. Variables digitalizadas sobre la base de la cartografía topográfica IGM a escala 1:50.000

Sauce Grande con sus respectivas sub-cuencas. La denominación de cada sub-cuenca se realizó sobre la base de la denominación del curso de orden mayor. Las sub-cuencas cuyos cursos principales no poseen nombre se las denominó según un elemento natural de relevancia y en caso de no existir se tomó el nombre de un elemento antropogénico presente en la misma. Para esta tarea se siguió el criterio aplicado por el IGM. En algunos casos la hidrografía no presenta nombre en las cartas topográficas del IGM pero sí en las cartas geológicas, a partir de las cuales se le adjudicó el nombre.

El mayor inconveniente a la hora de delimitar y definir la red de drenaje es la dependencia de los resultados posteriores de la escala de trabajo. Senciales González (1999) propone una escala de 1:10.000 para la representación de elementos fluviales y si bien otros autores también recomiendan el trabajo con escalas mayores a 1:25:000, la disposición de información cartográfica para el área de estudio permitió como límite de trabajo la escala 1:50.000, como se mencionó anteriormente. De todas maneras para el trazado de los cursos se utilizaron las fotografías aéreas disponibles a escala 1:20.000 lo que permitió la extensión y trazado de cursos de agua principalmente en la zona de

cabeceras de cuenca. Cabe aclarar aquí que, al trabajar sobre una proyección horizontal, los valores obtenidos para los parámetros morfométricos de medición directa corresponden a la longitud cartográfica de los mismos.

2.2.3. Datos numéricos. Análisis y generación

2.2.3.1 Datos hidrométricos

Se cuenta con datos pertenecientes al Anuario Hidrológico, de la Dirección General de Agua y Energía Eléctrica del año 1946/47. Los mismos comprenden el período 1937-1946 para el arroyo el Negro y el San Bernardo, dos de los afluentes más importantes del río Sauce Grande. Los datos estadísticos de la estación de aforo de la ex Toma de agua ubicada 16 km aguas arriba del dique Paso de las Piedras (1919-1947) pertenecen al Ministerio de Obras Públicas de la provincia de Buenos Aires. A partir de allí, la información fue de difícil obtención. La misma es dispersa y poco continua.

La única fuente de información oficial actual de la que se dispone (2004-2007) procede de parte de las estadísticas facilitadas por la Autoridad del Agua que se encarga del registro de datos de la cuenca del río Sauce Grande. El resto de los datos obtenidos fueron sobre la base de trabajos publicados y estudios puntuales vinculados con proyectos hidrológicos encargados de estudiar el agua subterránea, algunos realizados por ingenieros en función de la instalación de infraestructura o para el aprovechamiento del recurso hídrico para abastecimiento de agua a las localidades cercanas.

También se obtuvieron datos hidrométricos mediante aforos directos realizados durante el período 2004-2009. Para obtener los caudales por este medio se tomó especial cuidado en la selección de los lugares más apropiados para la ubicación de la sección de control donde se realizan las mediciones directas de los caudales. Principalmente se tuvo en cuenta la accesibilidad, la estabilidad del lecho y que la sección se ubicara en un tramo donde el flujo sea calmo (libre de turbulencias) y donde la velocidad de la corriente esté, dentro de un rango que pueda ser registrada por un correntómetro. Las técnicas de aforar un curso de agua pueden ser varias, las aquí utilizadas fueron medidas de velocidad mediante un testigo y determinación de superficie transversal y posteriormente la utilización de un correntómetro. La forma de aforamiento se explicará en el capítulo 6 cuando se presenten los resultados de ambas técnicas.

Por otra parte, se realizaron mediciones de cotas máximas de las crecidas fluviales. Las mismas se efectuaron a partir de la localización de elementos vegetales u otro tipo de registro presentes en la llanura de inundación del río. Una vez localizadas se emplearon cintas métricas para la medición estimada de altura y prolongación en plano de la superficie que abarcó el agua.

2.2.3.2. Datos climatológicos y meteorológicos

A partir del mes de diciembre de 2006, funciona una estación meteorológica automática en la cuenca alta del río Sauce Grande. La misma es propiedad de la tesista y se instaló y mantiene gracias a la colaboración del proyecto de investigación “La geografía física del Sur de la provincia de Buenos Aires. Relaciones del hombre y el medio natural” subsidiado por la Universidad Nacional del Sur, donde se inserta esta tesis. Si bien debido a problemas técnicos en algunos meses falta la información es una de las primeras estaciones que funciona de manera continua y registra datos en este sector de la cuenca. La misma se encuentra localizada a los 38° 02' 42" Latitud Sur y 61° 51' 06" Longitud Oeste.

Los datos oficiales son escasos y sólo se cuenta con las estadísticas climatológicas de los períodos 1961-1970 y 1971-1980. Estos datos se obtuvieron a partir de una estación meteorológica situada en cercanías a la localidad de Sierra de la Ventana. Por otra parte, se cuenta con los datos de precipitación de cada estación del Ferrocarril Sur en la región para el período de 1925-1942; datos de la estancia Nonthue (1915- 2008), la cual tiene el registro continuo más representativo de la cuenca alta; Parque Provincial Ernesto Tornquist (1923-2008) y la estación meteorológica de Villa Ventana (1999-2005), entre los más actuales.

Asimismo desde el año 2005 se obtienen datos diarios de diferentes sitios web*, los cuales son utilizados para el análisis de aspectos meteorológicos como condiciones de precipitación extrema o diferentes estados de tiempo que suceden en el área de estudio. Se cuenta también con cartas del tiempo del servicio meteorológico nacional, éstas son proporcionadas por la Central Meteorológica de la Base Aero Naval Comandante Espora.

* www.smn.gov.ar; www.infoclima.com.ar; <http://tempo1.cptec.inpe.br>

Los registros de los diferentes elementos climáticos se analizaron con los métodos básicos de tratamiento estadístico: medias, valores máximos y mínimos, modas, desvíos, etc. Se analizaron las temperaturas, los vientos y las precipitaciones de las estadísticas climatológicas del período. Para los últimos años además de los datos proporcionados por la web se consultaron artículos periodísticos publicados por la prensa local, en caso de análisis de eventos extremos.

Los datos de precipitación se introdujeron como base de datos al ARCGIS 9.1, donde se elaboraron los mapas de isohietas correspondientes. Los mismos permiten identificar la distribución espacial de las lluvias y determinar eventuales influencias topográficas en cuanto a la concentración de las mismas. Por otra parte, se utilizó cartografía meteorológica proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional (www.smn.gov.ar). el análisis de las estas cartas sinópticas del tiempo se realizó para determinar las características dominantes del estado de la atmósfera y en caso de precipitación, reconocer la situación sinóptica que le dio origen. Este método de análisis propuesto por Campo y Gil (2004) y Campo de Ferreras *et al.* (2004) se basa en la identificación de centros de acción y su trayectoria, análisis isobárico y frontal y determinación del estado de tiempo.

A partir de los valores mensuales de precipitación se aplicó el Índice de Precipitación Estandarizado (IPE) a escala de 6 y 24 meses. Este índice cuantifica las condiciones de déficit o exceso de precipitación en un lugar, para un lapso determinado de tiempo el cual varía, generalmente, entre 1 y 24 meses. Fue desarrollado por McKee *et al.* (1993) con la finalidad de mejorar la detección del inicio de las sequías meteorológicas y su ulterior monitoreo. La sequía meteorológica está en función de la precipitación únicamente, sin considerar la temperatura ni las variables del suelo. Este índice es utilizado cada vez más debido a su simplicidad y flexibilidad para el estudio de la precipitación en varias escalas temporales. El Servicio Meteorológico Argentino está probando y utilizando esta herramienta para caracterizar la climatología de la sequía en la Argentina. Asimismo, en nuestro país diversos investigadores lo han incluido satisfactoriamente en sus estudios aplicados (Scian, 1997; Seiler *et al.*, 2002; Almeira *et al.*, 2004).

2.2.4. Fotografía aérea y convencional

Las fotografías aéreas verticales en blanco y negro para la zona corresponden a los años 1967 y 1981 a escala aproximada 1:25.000 y 1:20.000. Son copias en papel en estereoscopía de 23 x 23 cm y copias digitales. Fueron proporcionadas por la Dirección de Geodesia de la provincia de Buenos Aires.

Estas fotografías aéreas no cuentan con ningún tipo de corrección, el vuelo no se halla rectificado ni restituído, por lo tanto, posee los errores propios del mismo producidos por el avión: error de efecto de relieve, error de inclinación de la cámara aérea y error en la escala. Para su trabajo en forma digital, las copias en papel fueron escaneadas a una resolución de 500 dpi. Esto permite tener un tamaño de píxel en la imagen de 0,051 mm y de 1,27 m en el terreno. Los valores surgen del resultado del control de la escala de las fotos, donde se consideró como escala promedio de las mismas 1: 25.000 (Di Croche *et al.*, 2008). Posteriormente para la georreferenciación de algunas de ellas se eligieron puntos de control de las cartas topográficas del IGM correspondientes que se hallan en coordenadas Gauss Kruger, en sistema Campo Inchauspe.

Debido muchas veces a la escasez de información y de cobertura tanto cartográfica como de vuelos fotogramétricos se procedió a la búsqueda de fotografías históricas del área de estudio tomadas por habitantes del lugar u ocasionales turistas. También se tomaron fotografías en cada campaña lo que permitió observar y registrar tanto el equilibrio como la dinámica en varios sectores del área de estudio. Se dispone aproximadamente de 4.000 fotografías del área de estudio tomadas en los últimos 7 años.

2.2.5. Clasificación y definición de las variables morfométricas utilizadas

Los índices morfométricos son aplicados al estudio de las formas y procesos fluviales, así como a la dinámica hídrica desde mediados del siglo pasado por Horton (1945), Schumm (1956), Gregory y Wallings (1973), Strahler (1974), Knighton (1984), Morisawa (1985), Jardí (1985), Romero Díaz y López Bermúdez (1987), Romero Díaz (1989), Leopold *et al.* (1995) entre otros. Senciales González (1999) retoma los índices desarrollados por los autores mencionados anteriormente y realiza una valoración crítica de las metodologías más frecuentemente utilizadas en el campo de la morfometría fluvial.

Esta visión integradora permite efectuar un análisis más exhaustivo de cada índice. Por esta razón, el cálculo de los índices morfométricos en esta tesis se realiza sobre la base de los analizados por dicho autor. Se afirmó la elección de los índices con la lectura y análisis de nuevos libros y trabajos publicados hasta el presente entre ellos Marchetti (2000), Lupia Palmieri *et al.* (2001), Diez Herrero (2004), Guerra y González (2002), Barbieri y Marchetti (2003), González de Matauco (2004), Mesa (2006), Hui-Ping *et al.* (2006), Esper Angillieri (2007). Se calculan los índices más acordes al estudio de la dinámica hídrica de las cuencas aquí analizadas.

2.2.5.1. Jerarquización de los cauces y división de las cuencas

Pese a que existen diversas propuestas para establecer la jerarquía de los cauces de una cuenca (Gravelius, 1914; Shreve, 1966; Scheidegger, 1968) el más empleado es el método basado en la modificación parcial de las leyes de Horton propuesto por Strahler (1964). El mismo consiste en suprimir la fase de reclasificación jerárquica propuesta en el método de Horton. De esta manera todos los segmentos que se inician en la divisoria de agua no tendrán un orden superior a 1 (Fig. 2.3). Este sistema de jerarquización pese a sus limitaciones y a la creación de modelos más desarrollados, es el que actualmente tiene vigencia y posibilita la comparación de resultados con otras cuencas de diversos países. Por lo expuesto anteriormente éste es el utilizado en esta tesis.

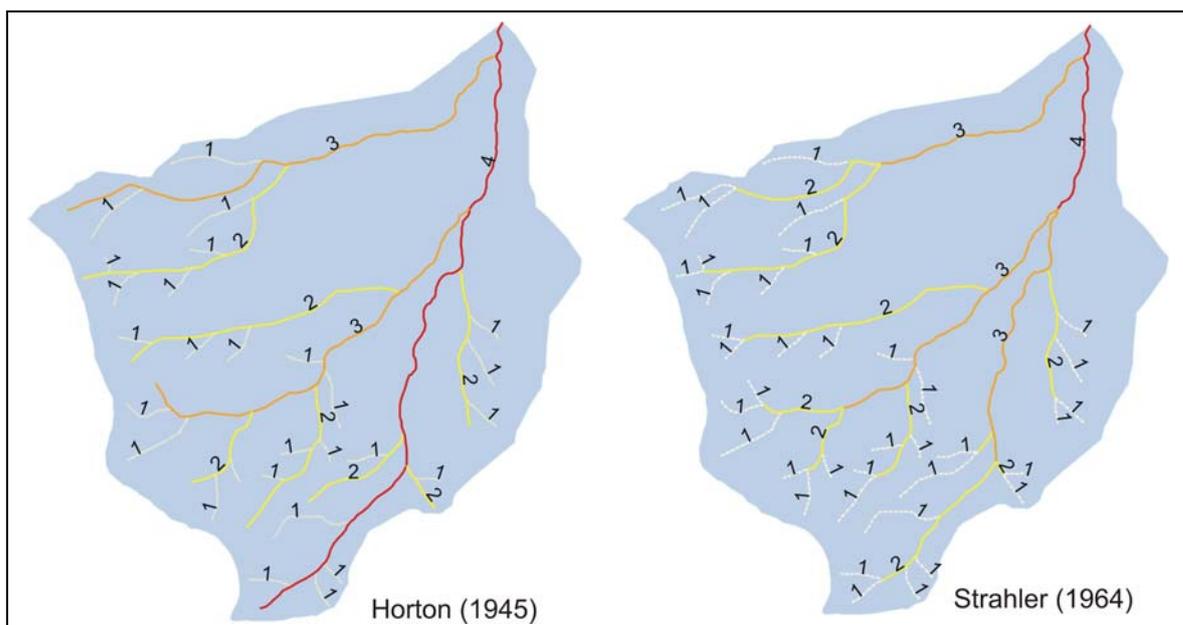


Figura 2.3. Método de jerarquización de los cauces. Strahler en 1964 modificó parcialmente el método propuesto por Horton en 1945

Con el objeto de facilitar el estudio morfométrico y de detalle de la dinámica fluvial se dividió la cuenca alta del río Sauce Grande en subcuencas. Se optó para hacer la subdivisión de la cuenca el criterio topológico, es decir, el número de orden de las subcuencas. El criterio elegido se debe a su mayor objetividad en la división de unidades. Serán objeto de estudio detallado las cuencas que posean un orden 3 o mayor. El motivo de la elección del orden 3 o mayor como unidad de análisis se debió a que las subcuencas poseen entidad suficiente para poder realizar comparaciones con otras.

2.2.5.2. Tipología de la red

La tipología de la red de drenaje se estableció sobre la base de la clasificación propuesta por Howard (1967). Según la clasificación los sistemas morfodinámicos originan diversos tipos de redes, con influencia de las condiciones climáticas, litológicas y estructurales o ambas combinadas. Entre ellas se puede nombrar la red dendrítica, subdendrítica, paralela, pinnada, rectangular, etc.

2.2.5.3. Análisis morfométrico

Para el análisis morfométrico que se llevó a cabo para cada subcuenca anteriormente señalada, se identificó el cauce principal según el criterio topográfico (Romero Díaz, 1989). Esto es el cauce cuya cabecera se encuentre más elevada, atendiendo de esta forma a la diferencia de cotas dentro de la cuenca. Sólo para la elección del curso principal de la cuenca alta del río Sauce Grande se combinaron dos criterios, el topográfico y el de longitud. Para cada uno de los cauces se midió su longitud, la distancia más corta desde su origen a la desembocadura y la longitud media del valle. El resto de los parámetros básicos de medición directa y los índices se calcularon también para cada subcuenca (Tabla 2.1). A estos parámetros e índices se los agrupó en cuatro conjuntos de variables según los aspectos de la cuenca a caracterizar; éstos son: relieve, topología y longitud de los cauces, forma y tamaño de las cuencas e intensidad fluvial.

	Nombre	Símbolo	Unidad	Fórmula	Autor	Definición
VARIABLES DE RELIEVE						
	Altura máxima	$H_{m\acute{a}x}$	m	-	-	
	Altura mínima	$H_{m\acute{i}n}$	m	-	-	
	Altura media	H_{med}	m	-	-	De la curva hipsométrica, es el valor medio
	Desnivel absoluto	D	m	$H_{m\acute{a}x} - H_{m\acute{i}n}$	-	
	Pendiente media de la cuenca	P_m	%	-	-	
Parámetro	Pendiente media del curso principal	P_{mcp}	%	$\frac{H_{Mc} - H_{mc}}{l}$	-	H_{Mc} = altitud máxima del curso H_{mc} = altitud mínima del curso l = longitud del curso principal
Índice	Razón de relieve	R_r		D/L_c	SCHUMM (1956)	D = desnivel absoluto L_c = longitud de la cuenca
	Relación de Relieve	R		D/P	MELTON (1957)	D = desnivel absoluto P = perímetro de la cuenca
VARIABLES DE TOPOLOGÍA Y LONGITUD DE LOS CAUCES						
	Orden de la cuenca	O			STRAHLER (1964)	
	Nº de cursos de orden u	N_u			STRAHLER (1964)	
	Nº total de cursos	N_t			STRAHLER (1964)	
	Longitud cursos orden u	L_u	km		STRAHLER (1964)	
Parámetro	Longitud total de cursos	L_t	km	$\sum_{k=1}^n L_k$	STRAHLER (1964)	
	Longitud del curso principal	l	km		HORTON (1945)	
	Razón de bifurcación	R_b		N_u / N_{u+1}	HORTON (1945)	N_u = número de cauces de orden u
	Razón de longitud	R_l		$L_{\bar{u}} / L_{\bar{u}-1}$	HORTON (1945)	$L_{\bar{u}}$ = longitud de los cauces de un orden dado l = longitud del curso principal
Índice	Sinuosidad hidráulica del curso principal	I_{Sh}		l / L_d	MUELLER (1968)	L_d = longitud más corta entre el inicio y el final del curso principal
VARIABLES DE FORMA Y TAMAÑO DE LAS CUENCAS						
Parámetro	Área de la cuenca	A	km ²	-	-	
	Perímetro de la cuenca	P	km	-	-	
	Longitud de la cuenca	L_c	km	-	-	
Índice	Razón de elongación	R_e	-	$1,129 * (\sqrt{A} / l)$	SCHUMM (1956)	
VARIABLE DE INTENSIDAD FLUVIAL						
Índice	Densidad de drenaje	D_d	km/km ²	L_t / A	HORTON (1932)	L_t = Longitud total de los cursos A = Área de la cuenca

Índice	Índice de frecuencia	I_f	-	$N1/A$	STRAHLER (1964)	$N1$ = Número de cursos de orden 1 A = Área de la cuenca
	Coefficiente de torrencialidad	C_t	-	$Dd \times (N1/A)$	-	Dd = Densidad de drenaje $N1$ = Número de cursos de orden 1 A = Área de la cuenca
	Coefficiente de almacenamiento	C_a	-	Rl/Rb	-	Rl = Razón de longitud Rb = Razón de bifurcación
	Constante de mantenimiento del curso	C_m	-	$1/Dd$	SCHUMM (1956)	Dd = Densidad de drenaje

Tabla 2.1. Parámetros e índices morfométricos calculados para cada sub-cuenca de la cuenca alta del río Sauce Grande

2.2.6. Cartografía geomorfológica básica y aplicada

Para la elaboración de la cartografía geomorfológica e hidrogeomorfológica se utiliza la metodología propuesta por Tricart (1973), I.T.C. (1980), Peña Monné (1997) y Mikkan (2007). El mapa geomorfológico es importante ya que deja de forma clara y concreta la distribución y configuración espacial que presentan sobre el terreno los elementos del relieve. A pesar de la gran diversidad de escuelas y métodos de cartografía geomorfológica parece claro que existe una serie de elementos que deben ser representados en los mapas. Según Peña Monné *et al.* (2002) es necesario establecer previamente, siguiendo criterios metodológicos, una serie de elementos ordenados en una leyenda. Esta ordenación tiene un fundamento teórico que sobrepasa las consideraciones estéticas o didácticas de la cartografía y el sistema de signos de la leyenda es coherente con la estructura conceptual. La información que debe proporcionar la carta puede resumirse en los siguientes aspectos: información topográfica e hidrográfica, datos geológicos, morfometría, morfogénesis, morfoestructura, morfocronología y morfodinámica.

Se elaboró el mapa geomorfológico e hidrogeomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande. Según la relevancia geomorfológica de algunas unidades se realizó un cambio de escala y se elaboraron los mapas para el sector. Con la cartografía hidrogeomorfológica se realizó también un cambio de escala con objetivo en las cuencas más importantes desde el punto de vista de la dinámica fluvial. La elección se basó en las cartas geomorfológicas, las variables morfométricas y los caudales disponibles.

2.2.7. Medición y análisis de corrientes fluviales

Las características y formas de los canales así como los patrones geomorfológicos en diferentes tramos del río Sauce Grande se reconocieron mediante trabajo de campo. Se aplicó la metodología propuesta por Thorne (1998) para el reconocimiento geomorfológico de las corrientes superficiales, basada en la recopilación de información en campo durante períodos de estiaje. Los datos recolectados fueron de tipo cualitativo (descripción de valle, del canal y de las márgenes) y semi-cuantitativo (ancho de la corriente, altura y pendiente de los barrancos, pendiente general, sinuosidad, etc.). Los perfiles se realizaron con nivel óptico digital de precisión milimétrica, proporcionado por el Laboratorio de Geografía Física GEOLAB - UMR 6042, CNRS - Universidad Blaise Pascal Clermont Ferrand II, Francia. Con el mismo se

obtienen valores de distancia horizontal, distancia vertical a la horizontal, distancia en pendiente y ángulo entre la mira y distancia horizontal (Fig. 2.4). Posteriormente estos valores son introducidos a programas informáticos para realizar la graficación de los perfiles.

La elección de los sitios de estudio en la cuenca alta del río Sauce Grande se realizó sobre la base de observaciones de la dinámica del río, instalación de estaciones de medición de altura de agua, accesibilidad y cercanía a sectores con peligro de inundación y modificación antropogénica. De esta manera se seleccionaron 2 tramos, *Peralta* y *Pambianco*. Se adjudicaron estas denominaciones debido a la localización cercana de puentes que llevan los respectivos



Figura 2.4. Nivel óptico digital utilizado para la obtención de perfiles

nombres y a los fines de una mejor identificación en el desarrollo de la tesis. Los tramos Peralta y Pambianco fueron relevados en el mes de agosto, invierno, del año 2004, un año posterior a una de las mayores avenidas del río Sauce Grande.

2.2.8. Estudio de las dimensiones del riesgo

Para poder abordar la complejidad y acercarse a una evaluación del riesgo ante un evento natural desde la teoría social del riesgo se proponen cuatro dimensiones básicas ya expuestas (Peligrosidad, Vulnerabilidad, Exposición e Incertidumbre). La forma de presentación de las mismas para la localidad de Sierra de la Ventana se tomó del “Análisis de riesgo ambiental en el caso de inundaciones en el Noreste bonaerense. Dimensiones del riesgo y complejidad creciente” desarrollado en la mesa redonda de la atención de la emergencia a la promoción del desarrollo regional (Natenzon, 2008).

Para cada uno de los ámbitos se planteó un problema, una posible solución y la situación de incertidumbre emergente. Este análisis subjetivo se basó en lo señalado por los entrevistados y lo experimentado en tareas de campo. Se profundiza en esta tesis sólo en el ámbito del peligro y exposición.

Teniendo en cuenta la información disponible y las posibilidades de trabajo de campo se proponen diferentes mapas para el análisis de la exposición y el peligro. Se ha consultado para la elección de los mapas el informe final del diagnóstico socio-territorial del riesgo ambiental del Pueblo de Iruya realizado por Natenzon *et al.* (2003). Los mapas realizados son: mapa de ocupación de parcelas; mapa de lugares esenciales de la localidad; mapa de usos del suelo; mapa de zonas inundadas y mapa de peligro de crecidas.

PARTE 2

Desde el punto de vista sistémico se considera a la cuenca alta del río Sauce Grande como un sistema abierto y en constante relación con el entorno. Por ello, es necesario conocer los aspectos relevantes del contexto físico-ambiental del cual forma parte a una escala regional.

CAPITULO 3

CONTEXTO FISICO – AMBIENTAL A ESCALA REGIONAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1. Aspectos relevantes del contexto físico

3.1.1. El clima a escala zonal y regional

La alternancia permanente de masas de aire de distinta naturaleza y el desplazamiento estacional de los centros de acción son responsables de las características climáticas de gran parte de la llanura pampeana. El Suroeste bonaerense, queda comprendido en la faja zonal de climas templados, donde las estaciones térmicas son bien diferenciadas y la variabilidad en las condiciones de tiempo son características esenciales. Los valores anuales medios están comprendidos entre los 14 °C y los 20 °C. Durante la estación cálida son frecuentes registros que superan los 40 °C en tanto que los inviernos suelen presentar marcadas olas de frío que ocasionan perjuicios a la población y a las actividades económicas. Las lluvias, que se dan principalmente en otoño y primavera, disminuyen hacia el Oeste otorgando un carácter subhúmedo a esta variedad de clima templado, denominado también clima templado de transición. Las precipitaciones medias de la región están comprendidas entre 841,7 mm al Este (Tres Arroyos) y 380 mm al Oeste (Viedma). Es el dominio de los vientos del Oeste, según los modelos de circulación atmosférica general (Capelli de Steffens *et al.*, 1994; Campo de Ferreras *et al.*, 2004; Campo de Ferreras y Gil, 2004).

3.1.1.1. Masas de aire generadoras de estados de tiempo: diferencias estacionales

Las masas de aire Polar continental (Pc) en el verano (Fig. 3.1) tienen escaso desarrollo continental en América del Sur; sin embargo, el aire patagónico que arriba al Suroeste bonaerense se identifica como una masa Pc. En su origen la masa de aire es Polar marítima (Pm) generada en el Océano Pacífico Sur la cual, debido al efecto orográfico en el Sur de la cordillera de los Andes, pasa por un proceso de desecamiento. Las masas Tropicales continentales (Tc) que pertenecen a la franja planetaria de las Altas Presiones Subtropicales de los 30° de latitud, en verano se ven restringidas al interior del continente que se encuentra muy caliente. El aire subsidente se aleja de su punto de saturación e inhibe la posibilidad de generar precipitaciones. Además de la subsidencia, las principales características de esta masa de aire son la sequía y la pérdida de energía por enfriamiento nocturno. El Sur de la provincia de Buenos Aires está bajo dominio de esta masa de aire durante el verano. Por otra parte, las masas de aire

que se generan en las Altas Presiones Subtropicales sobre los océanos cálidos se denominan Tropicales marítimas (Tm). La presencia de la cordillera de los Andes y del aire Tc sobre el centro del continente limita el dominio de la masa Tm del océano Pacífico y no influye en el clima del Sur de la llanura pampeana. Sin embargo, sobre las costas orientales del continente hasta el Sur de la provincia de Buenos Aires se localiza el área de dominio de las masas de aire Tropicales marítimas que surgen del borde occidental del Anticiclón del Atlántico Sur. Esta masa de aire es inestable (Tm_i) debido a que ha realizado un recorrido sobre el océano cálido como consecuencia de la presencia de la corriente cálida del Brasil. El ingreso al continente y el encuentro con relieves relativamente elevados favorece al desarrollo de precipitaciones que van en disminución hacia el interior continental. Debido al desplazamiento hacia el Sur de los centros anticiclónicos coincidente con la estación estival esta masa de aire ingresa hasta el Sur de la provincia de Buenos Aires. Si bien en estas latitudes ya ha perdido gran parte de sus propiedades iniciales igualmente es generadora de lluvias y de las típicas tormentas de verano que se producen en la región (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

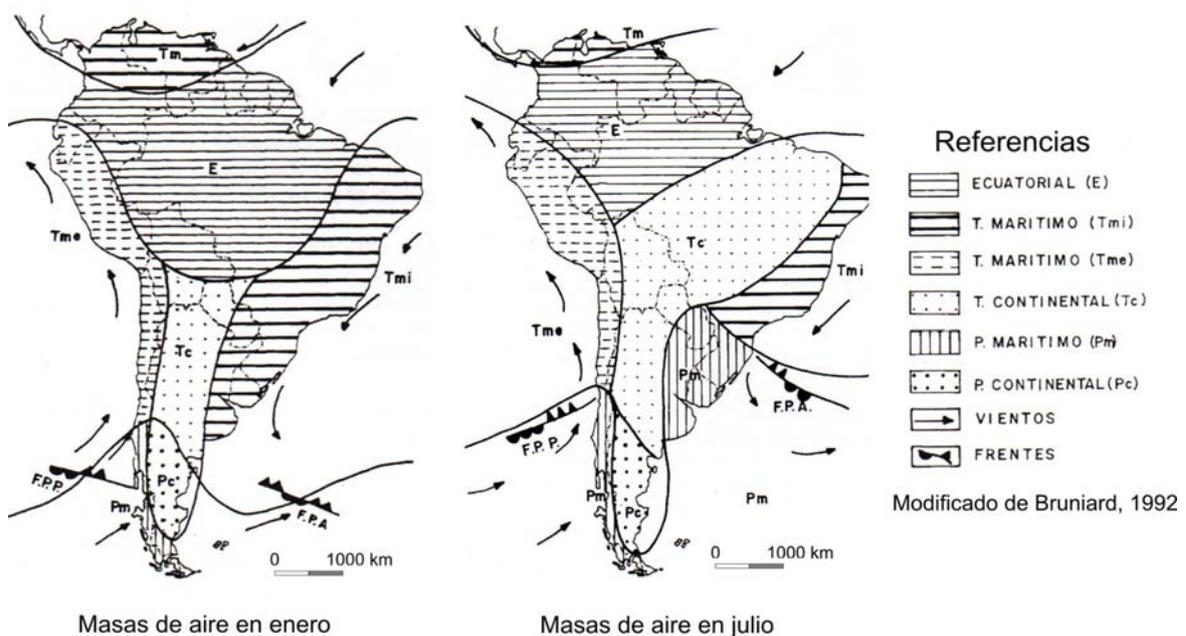


Figura 3.1. Área de dominio de las masas de aire para el verano e invierno.
Fuente: Campo de Ferreras *et al.* (2004).

La zona de las Altas Presiones Subtropicales en el invierno (Fig. 3.1) se desplaza hacia latitudes más bajas de acuerdo con el movimiento aparente del Sol hacia el Hemisferio Norte. A su vez, el sistema de las Bajas Presiones Subpolares hace sentir más su influencia en la Patagonia acompañando el avance de los frentes fríos hacia el Noreste. Las masas de aire Pc aumentan su extensión y el aire frío es muy estable

debido al enfriamiento de la Patagonia. Las masas Pm amplían su dominio en esta estación. En la región Pampeana y en particular en el Sur de la provincia de Buenos Aires se destaca la influencia de aire frío y húmedo que en general proviene de desprendimientos celulares de las Altas Presiones del Pacífico Sur. Las masas de aire Tropicales continentales en el invierno intensifican su área de dominio. Según Bruniard (1992) esta masa de aire cubre las áreas secas de los interiores continentales, en la franja donde los anticiclones oceánicos se sueldan en altura sobre los continentes y la subsidencia de esos niveles genera baja nubosidad y aire relativamente caliente y seco (Campo de Ferreras *et al.*, 2004 y Campo y Gil, 2004).

3.1.1.2. Estados de tiempo que inciden en el Suroeste de la provincia de Buenos Aires

Existe una sucesión de estados de tiempo que se identifican por sus condiciones típicas de temperatura y humedad y por tener direcciones de viento predominantes de un sector en particular. Estos estados de tiempo, que se conocen bajo los nombres locales de Pampero, Sudestada, Zonda y Viento Norte, abarcan extensas áreas de Argentina y ocurren en distintas épocas del año (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). Los que influyen en el área de estudio son el Pampero, la Sudestada y el Viento Norte.

El viento Pampero es un viento fuerte y frío que proviene del interior de la región pampeana. La población del litoral bonaerense desde la época de la colonia identificó a este viento que llegaba de “las pampas” como “El Pampero”. Este estado de tiempo que se desarrolla en el transcurso de aproximadamente una semana se manifiesta como un viento frío, fresco o templado según la estación del año pero siempre seco. Su velocidad es superior a 40 km/h y sopla con ráfagas que provienen del Sur o del Suroeste. Siempre está asociado al pasaje de un frente frío por lo cual, en su fase inicial, suelen producirse ocasionalmente precipitaciones de tipo frontal (Fig. 3.2). Cuando no genera lluvias, es frecuente que transporte abundante material fino en



Figura.3.2. Fase inicial del Pampero.

Modificado de Campo de Ferreras *et al.* (2004).

suspensión que afecta sensiblemente a la visibilidad y a la salud de la población (Fig. 3.3). La última fase de este típico estado de tiempo de la llanura pampeana es una situación de muy alta presión donde el aire está en calma y en invierno genera días de intenso frío. El descenso de la humedad relativa en el Sur de la provincia de Buenos Aires es una de las características más sobresalientes de esta etapa. El cielo se presenta despejado y hay un aumento de la presión atmosférica que suele alcanzar valores de 1.030 hPa y 1.035 hPa.



Figura 3.3. Tormenta de polvo en cercanías de Bahía Blanca (21/12/08).

<http://severestormargentina.blogspot.com/2008/12/211208-fuertes-vientos-en-el-sudoeste.html>

El viento Norte es característico de la estación estival. Cuando se desarrolla esta situación sinóptica se generan altas temperaturas, cambios en la presión atmosférica y sequedad en el ambiente. Este flujo de aire se origina en el Anticiclón del Atlántico Sur y descarga su humedad en el litoral, centro del país y llanura pampeana (Fig. 3.4.a). En consecuencia, el Sur de la provincia de Buenos Aires recibe desde el Norte una masa de aire seca y cálida (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). El estudio de este estado de tiempo ayuda a la interpretación de las características climáticas continentales que tiene la zona costera del Suroeste bonaerense.

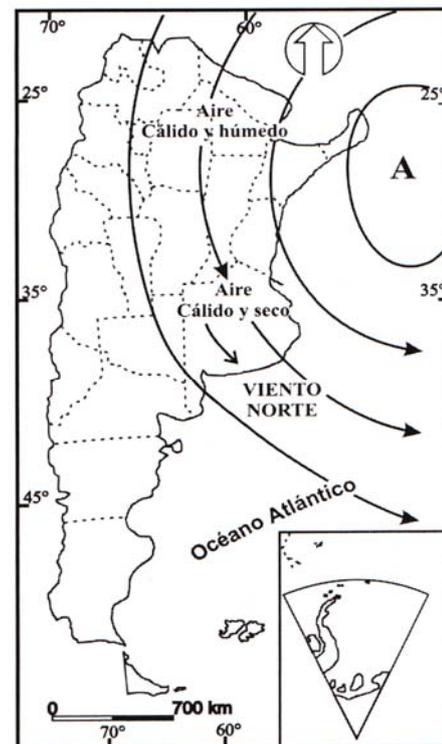


Figura 3.4.a. Situación sinóptica del viento Norte. Modificado de Campo de Ferreras *et al.* (2004).

En particular sobresale la situación de la localidad de Bahía Blanca, ciudad que está emplazada en la costa del mar argentino y que sin embargo no recibe los beneficios de la influencia marítima.

La Sudestada es un estado de mal tiempo que afecta el litoral costero de la provincia de Buenos Aires hasta el Río de la Plata (Fig. 3.4.b). Se caracteriza por vientos regulares a fuertes del sector Sureste con velocidades superiores a los 35 km/h (S.M.N., 1985). Está acompañado de lluvias persistentes y registros térmicos relativamente bajos. La masa de aire que genera este estado de tiempo es un desprendimiento del Anticiclón del Pacífico Sur favorecido por las altas presiones continentales en el invierno. La trayectoria del anticiclón es Oeste – Este y se localiza en el océano Atlántico frente a las costas bonaerenses (Campo *et al.*, 2004b). Es por ello que el aire emitido por este centro de alta presión se carga de humedad en el mar e

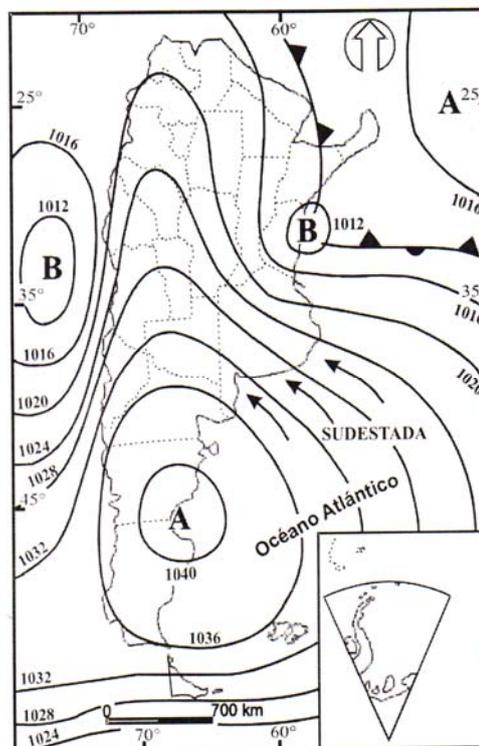


Figura 3.4.b. Situación sinóptica de Sudestada. Modificado de Campo de Ferreras *et al.*, (2004).

ingresa al continente con sentido Sureste – Noroeste. Este estado de tiempo se produce a lo largo de todo el año con diferente intensidad. Como consecuencia de la intensificación de las altas presiones durante el invierno las Sudestadas van aumentando su frecuencia y su intensidad desde el mes de febrero al mes de noviembre. Entre abril y noviembre se produce la mayor cantidad de días con Sudestada y el mes de octubre es el que sobresale por la mayor frecuencia de este estado de tiempo. Por lo general en este mes se desarrollan los mayores eventos de Sudestada con una duración aproximada de una semana de tiempo frío y lluvioso.

3.1.1.3. Los elementos climáticos y las diferencias espaciales y estacionales a escala regional

En este apartado se realizará una descripción general de los elementos climáticos a escala regional más relevantes. Se tomó como base las estadísticas oficiales del SMN.

Posteriormente en el capítulo 6 se retoman estos aspectos relevantes a las condiciones climáticas del área de estudio. Las precipitaciones serán analizadas con mayor profundidad a los efectos de su posterior comparación y relación con la distribución de los caudales en la cuenca alta del río Sauce Grande.

A partir del análisis de las estadísticas climatológicas y de los diagramas ombrotérmicos, Capelli de Steffens *et al.*, (1994) y Campo de Ferreras *et al.*, (2004) explicaron los regímenes térmicos y pluviométricos que caracterizan al Suroeste bonaerense durante las décadas 1971 – 1980 y 1981 – 1990. Demostraron que los rasgos esenciales del clima se mantuvieron a través de las dos décadas pero los valores registrados están sujetos a oscilaciones. Estas variaciones no necesariamente están unidas a un cambio climático sino que pueden atribuirse a fluctuaciones climáticas naturales y su causa puede encontrarse en la compleja interacción entre los océanos y la atmósfera.

Las variaciones de las temperaturas guardan relación con la continentalidad, exposición a los flujos de aire dominantes, orientación de la costa y corrientes oceánicas (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). En el área de estudio responden mayormente a diferencias en los factores locales. En general se observa la presencia de veranos e inviernos térmicos bien diferenciados y estaciones intermedias muy similares en sus valores. Las localidades situadas próximas al sistema de Ventania muestran los valores medios más bajos del área (Pigüé y Coronel Suárez) mientras que hacia el Este los valores aumentan. En la estación del verano las localidades de Pigüé y Coronel Suárez, Viedma y Faro El Rincón presentan menores valores en comparación con las localidades de Bahía Blanca y Bordenave. Los inviernos son más fríos en las áreas serranas de Pigüé y Coronel Suárez y los valores se mantienen más o menos homogéneos en el resto del área. Las estaciones intermedias registran valores que oscilan en torno a los 14 °C siendo algo menores en los límites Norte y Este. Comparativamente esta situación se mantiene a lo largo de las distintas décadas. El efecto de continentalidad se manifiesta a través del análisis de la amplitud media anual de temperatura y el número medio de días con heladas. En el Suroeste de la provincia de Buenos Aires las amplitudes térmicas son más bajas (menos de 14,5 °C), se amplían en proximidades a Bahía Blanca (entre 15,8 y 16,3 °C) y hacia el Oeste (Fig. 3.5).

En las localidades próximas a cursos de agua se atenúan las temperaturas extremas al incorporar humedad al ambiente. El análisis de la cantidad de días con heladas revela números mayores en las localidades de Laprida y Coronel Suárez

mientras que en localidades como Bahía Blanca y Ascasubi se mantiene entre los 40 y 44 días.

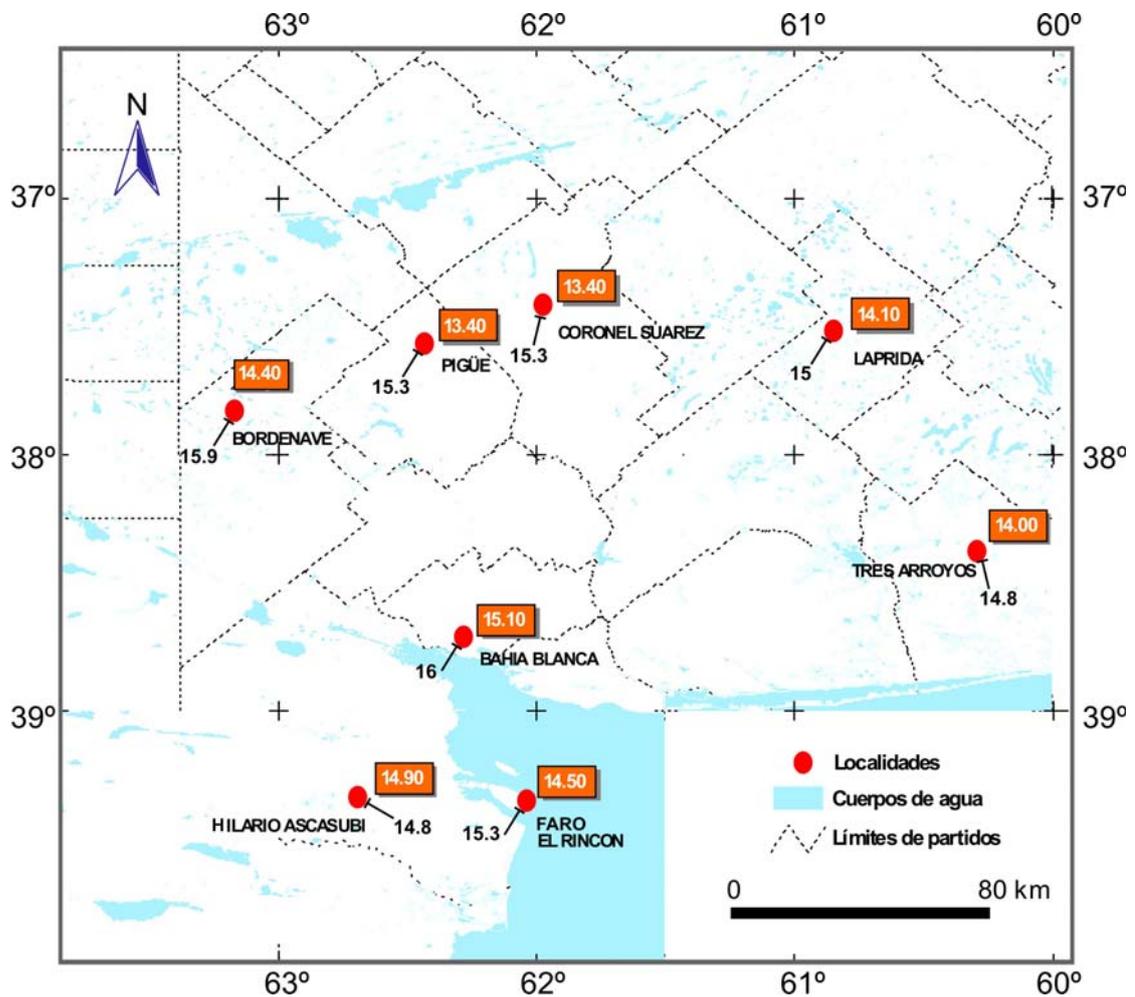


Figura 3.5. Temperaturas medias anuales y amplitudes térmicas (1981 – 1990) para distintas localidades del Suroeste bonaerense. (Los números en blanco indican las temperaturas y los negros la amplitud térmica, ambos en grados Celsius).

En la región los vientos se comportan de manera similar tanto en el período 1971-1980 como en el período 1981-1990. Las rosas de los vientos anuales evidencian los distintos componentes en la dirección de vientos. Se eligieron 4 localidades representativas del comportamiento del viento en la región (Fig. 3.6).

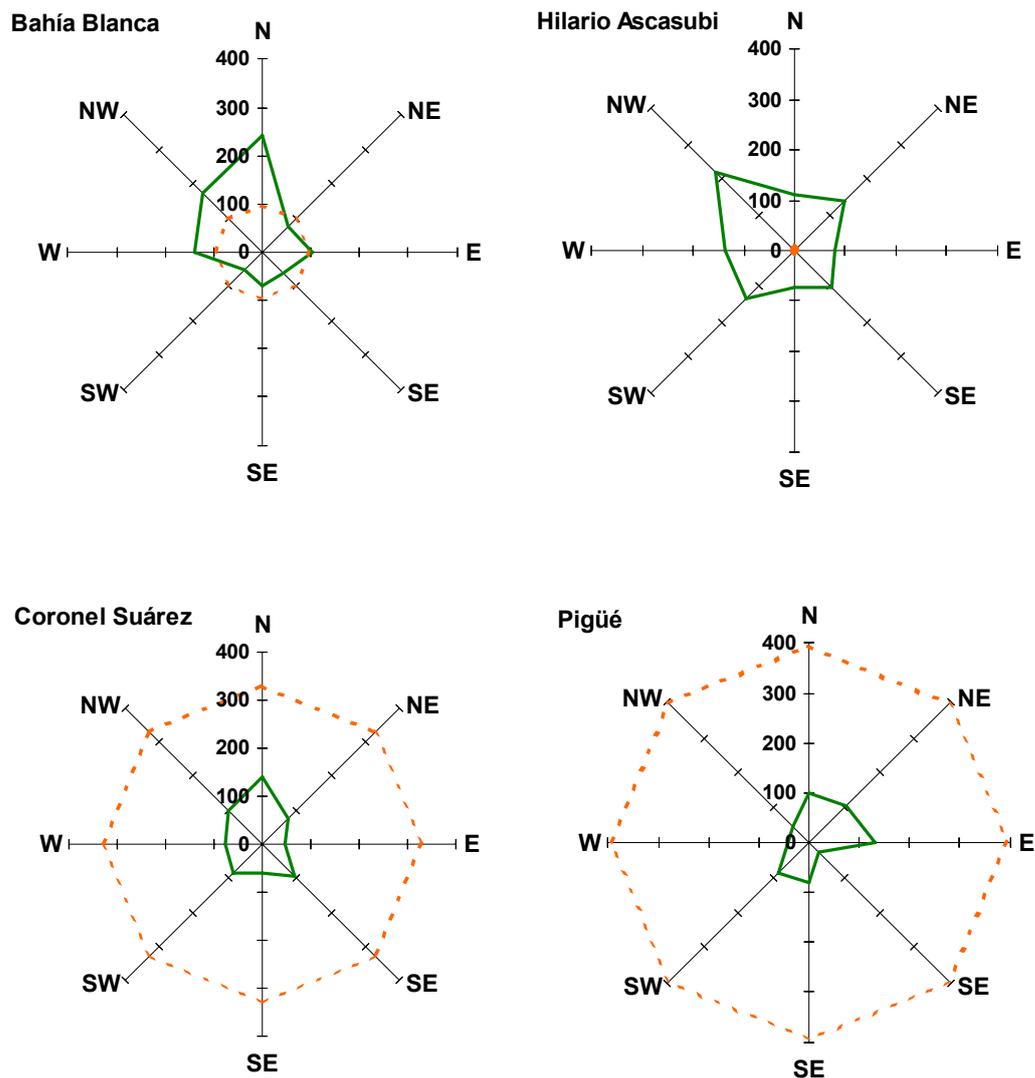


Figura 3.6. Rosas de los vientos para localidades representativas de la región (1981-1990). La línea continua verde representa la frecuencia por direcciones y la línea punteada naranja indica la frecuencia de calmas (frecuencias en escala de 1000)

Para la década 1981 – 1990 se observa que la localidad de Coronel Suárez presenta direcciones de viento predominante del cuadrante Norte mientras que hacia el Sur, en Bahía Blanca e Hilario Ascasubi presentan componente dominante del Norte y Noroeste. La localidad de Pigüé es un caso especial ya que no domina ninguna dirección en particular y casi no registra vientos del cuadrante Noroeste y Sureste. Cabe destacar que la frecuencia de calmas anual es significativa en la localidad de Coronel Suárez y Pigüé donde alcanza valores altos comparativamente con la frecuencia de vientos por direcciones.

Las precipitaciones en el Suroeste bonaerense varían espacialmente y guardan relación con la continentalidad, exposición a los flujos dominantes, orientación de la costa y corrientes oceánicas (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). En la figura 3.7 se observa la distribución espacial de las precipitaciones anuales para diferentes períodos.

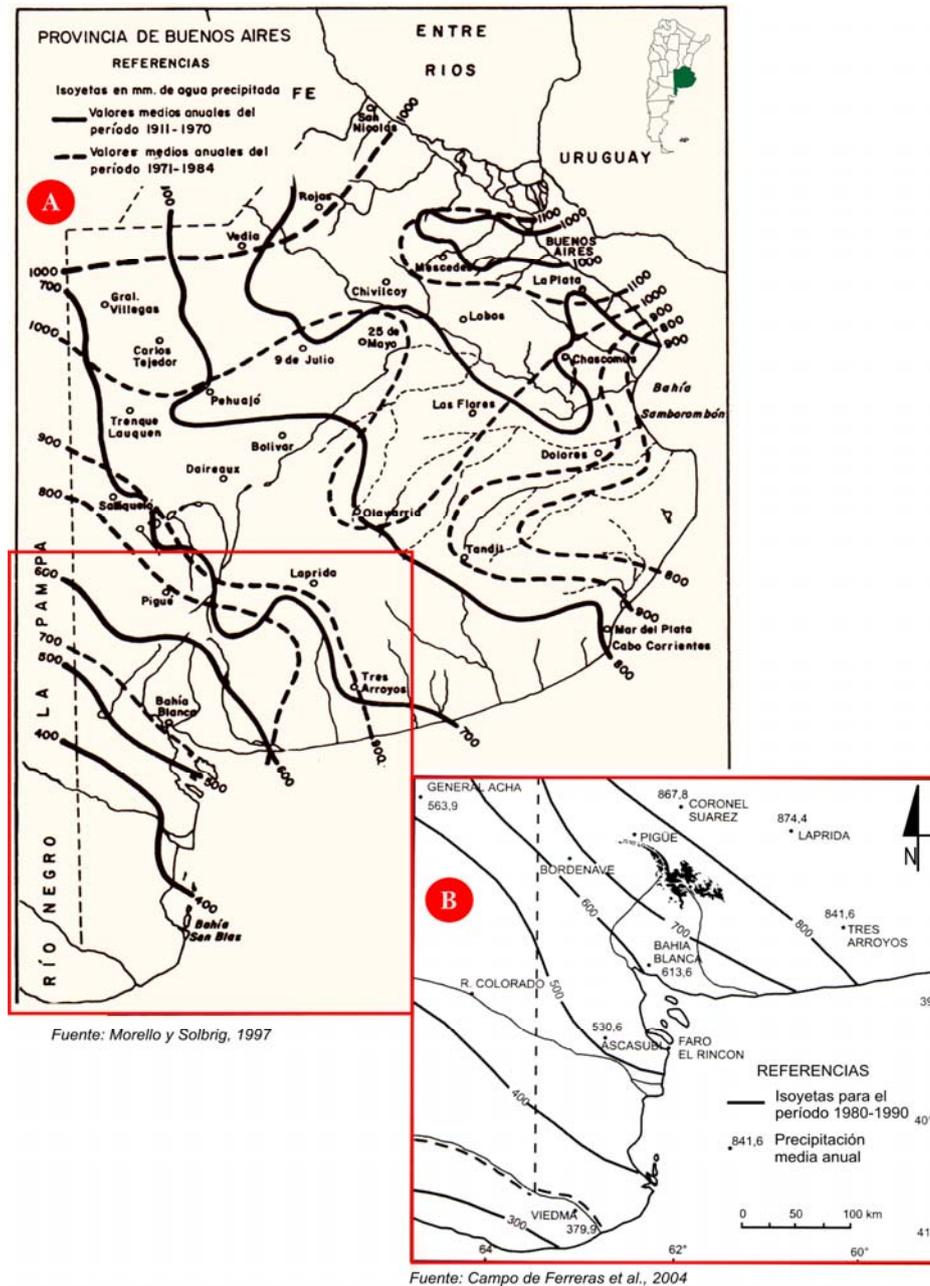


Figura 3.7. Mapas de isohietas para distintos períodos. (A) Isohietas para la provincia de Buenos Aires. (B) Isohietas para el Suroeste bonaerense.

Si se comparan los diferentes períodos el trazado de isohietas presenta variaciones. En la figura 3.7 A se puede observar una diferencia entre los valores medios a lo largo de

50 años (1911-1970) respecto al trazado de las isohietas para el período 1971-1984. Asimismo, la figura 3.7.B evidencia la variación de las isohietas de una década a otra. Por ejemplo, la isohieta de 700 mm en el período 1971-1984 (Fig. 3.7A) se situaba al Suroeste de Bahía Blanca mientras que en la década de 1981-1990 (Fig. 3.7B) su trazado es al Noreste de la ciudad.

Cabe destacar que la presencia del cordón serrano genera una sobreexcitación orográfica en las precipitaciones zonales aumentando la cantidad de lluvia caída en los faldeos más expuestos a los vientos. Este aumento es del orden de los 110 mm en casos extremos (Zapperi *et al.*, 2007a). La estación Sierra de la Ventana tiene registros de precipitación del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) desde 1961 al 1976, año en que suspendieron las mediciones. Esta estación registró una precipitación media anual de 921 mm.

Las lluvias, muchas veces insuficientes para el cultivo de secano en el occidente de la región, otorgan un carácter subhúmedo a esta variedad de clima templado, denominado también de transición. Las mismas, no sólo están influidas por el desplazamiento de las masas de aire que surgen de los centros de acción del hemisferio Sur, sino que también se ven alteradas por fenómenos climáticos que actúan a escala planetaria como por ejemplo El Niño/Oscilación Sur (ENOS) (Campo *et al.*, 2009).

En cuanto al origen de las precipitaciones Zapperi *et al.* (2007, 2007a); Gil *et al.* (2008b) y Campo *et al.* (2009) reconocen seis situaciones meteorológicas generadoras. Esta clasificación está efectuada sobre la base de los trabajos realizados por Celemín (1984).

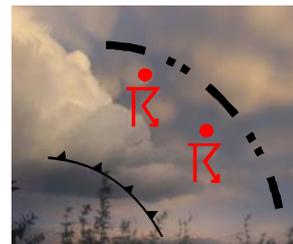
a) **Lluvias de frente frío:** Durante todo el año, gran parte de las lluvias que se producen en la región son debidas a frentes fríos. Generalmente, las lluvias se producen detrás del frente frío dentro del aire fresco y con vientos del Sur, Suroeste y Sureste. La duración estimada de las lluvias es de 12 horas.



b) **Lluvias de frente cálido:** Estas precipitaciones se registran en cualquier momento del año, pero con menor frecuencia en el verano. Los frentes cálidos producen tormentas eléctricas, lloviznas y nieblas. La duración de las precipitaciones suele ser de 3 a 63 horas.



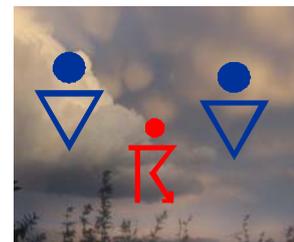
c) **Lluvias de línea de inestabilidad:** Consisten en tormentas eléctricas, fuertes chaparrones, vientos del Sur o Suroeste y ocasionalmente chaparrones de granizo. Estos sistemas de mal tiempo suelen formarse delante de un frente frío y se mueven rápidamente (20 a 60 km/h) de Suroeste a Noreste y son comunes en los meses de octubre a marzo. La duración de las precipitaciones abarca entre media hora y 6 horas.



d) **Lluvias de onda frontal:** Se identifican estas situaciones como corrientes de perturbación formadas por familias de bajas presiones que se generan por el estrangulamiento producido dentro del frente estacionario por el empuje del aire frío hacia el Norte y del aire cálido hacia el Sur. Se suelen formar en la zona del río de la Plata o en el centro o Sur de la provincia de Buenos Aires. Afectan a la zona con lluvias, lloviznas, nieblas, tormentas y fuertes vientos. La duración de las lluvias varía entre 6 y 36 horas.



e) **Chaparrones y tormentas dispersas:** En épocas calurosas, se forman tormentas y chaparrones aislados por efecto de la inestabilidad del aire y del fuerte calentamiento del suelo. La duración de las precipitaciones suele fluctuar entre media hora y 3 horas.



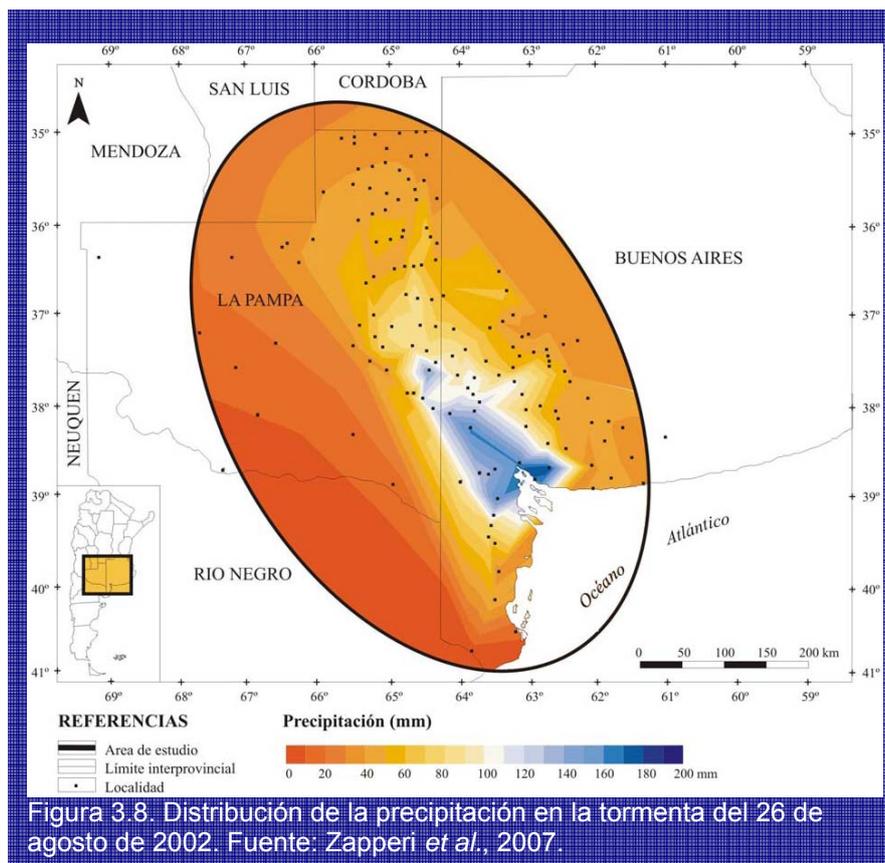
f) **Lluvias de “baja” o “vaguada” en altura:** Se producen cuando se forman en altura (3 a 10 km) centros de baja presión o vaguadas que tienen desplazamiento Oeste-Este. En la zona de avance por el ascenso del aire se generan abundantes lluvias. La duración de las lluvias es de 6 a 36 horas.

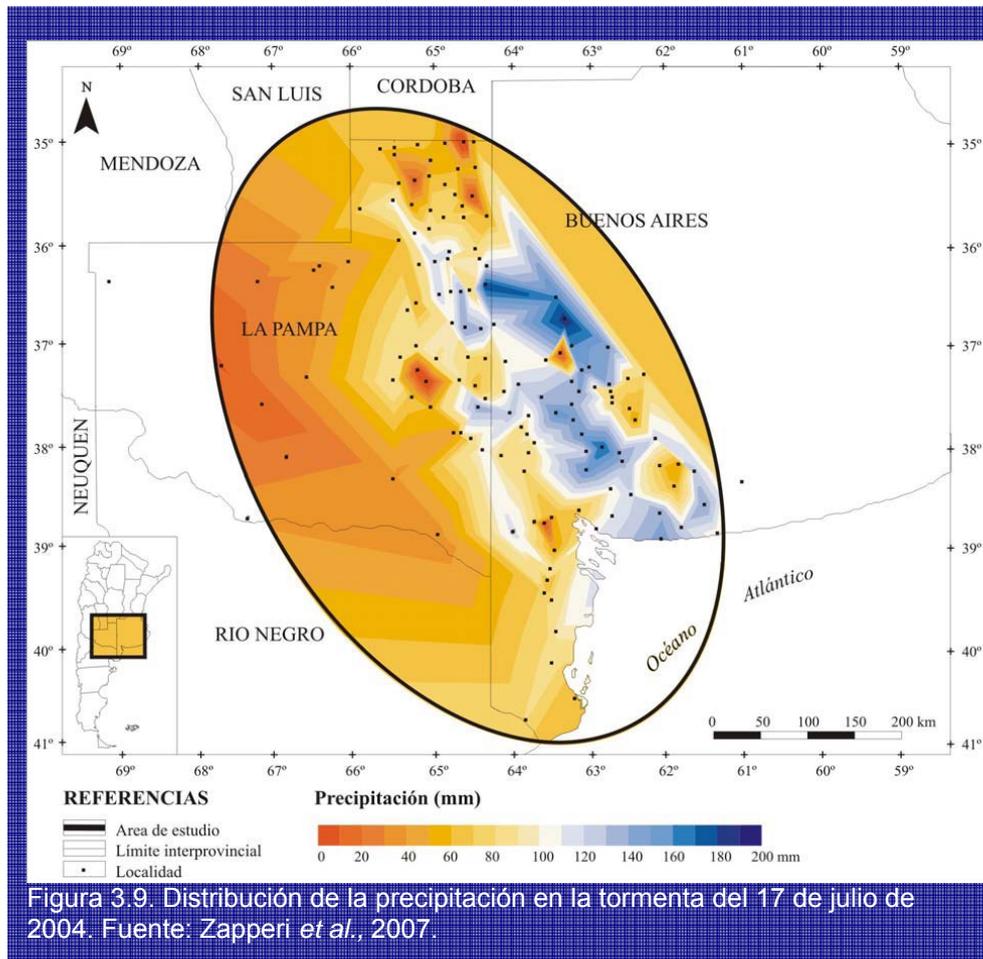


A su vez, del análisis de las situaciones sinópticas generadoras de lluvia se advirtió que el avance de frentes es la causa que produce la mayor cantidad de precipitaciones. Se identificaron también otras condiciones de inestabilidad derivadas de las altas temperaturas que provocan tormentas de masas de aire. El régimen de precipitaciones presenta máximos en primavera y en otoño y mínimos en invierno, sin embargo en los últimos años se observó un incremento en los montos durante los meses de verano,

mientras que en los meses de otoño el milimetraje tuvo una distribución irregular. Este comportamiento manifiesta las características distintivas de las precipitaciones en los climas dependientes del movimiento de diferentes masas de aire y pone en evidencia la existencia de variaciones espaciales originadas por las condiciones de sitio (Gil *et al.*, 2008b; Campo *et al.*, 2009).

Para conocer la distribución espacial de las lluvias y determinar la influencia de las condiciones de sitio en la ocurrencia y concentración de las mismas Zapperi *et al.* (2006, 2007) y Gil *et al.* (2008b) elaboraron mapas de isohietas para diferentes episodios de lluvias. La caracterización realizada comprende el período 2002 – 2005, a modo de ejemplo se presentan dos episodios de precipitación donde se observan las diferencias espaciales y el gradiente de precipitación que en algunos casos llega a 120 mm entre dos mismos lugares de observación (Fig. 3.8 y 3.9)





3.1.2. Unidades morfoestructurales del Suroeste de la provincia de Buenos Aires

Existe una diversidad en los criterios empleados para clasificar y caracterizar el paisaje de la provincia de Buenos Aires. Autores como Tapia (1937) y Frenguelli (1950) sentaron las bases en la sistematización de los rasgos superficiales de la provincia. Posteriormente el INTA (1990) en el mapa de suelos propuso una caracterización geomorfológica como base para la comprensión de la distribución espacial de las asociaciones del suelo. Cingolani (2005) propone como

marco regional 2 unidades principales: *áreas positivas* (Delta del Paraná, Umbral de Martín García, Tandilla y Ventania) y *cuencas y estructuras del subsuelo* (Cuenca de Claromecó, Cuenca del Colorado, Cuencas de Macachín, Laboulaye y Rosario, Lineamiento Vallimanca,

UNIDAD o ELEMENTO MORFOESTRUCTURAL:

Concepto geológico tomado para definir las unidades o elementos presentes en la provincia de Buenos Aires:

Extensión de terreno de escala regional, que se distingue de su entorno por presentar un relieve o desarrollo de subsuelo característico, condicionado por la litología y estructura (Cingolani, 2005).

Pataforma continental bonaerense). Finalmente Zárata y Rabassa (2005) desde el punto de vista geomorfológico describen, analizan e interpretan a escala regional el paisaje en función de los elementos morfoestructurales que integran el territorio bonaerense (Fig. 3.10). Este ordenamiento de geformas individualizadas se realizó sobre la base de la clasificación en unidades propuesta por Yrigoyen (1975) y Cingolani (2005). Ellos definen para la provincia de Buenos Aires 5 elementos: Positivo Bonaerense (conformado por los cordones serranos de Ventania y Tandilia y la llanura interserrana ó cuenca de Claromecó), Cuenca Tectónica del Salado, Cuenca Tectónica del Colorado, Cuenca de Laboulaye y Cuenca de Macachín. La Cuenca Tectónica del Colorado, la Cuenca de Claromecó (llanura interserrana) y el sistema de Ventania conforman el contexto regional del área de estudio.

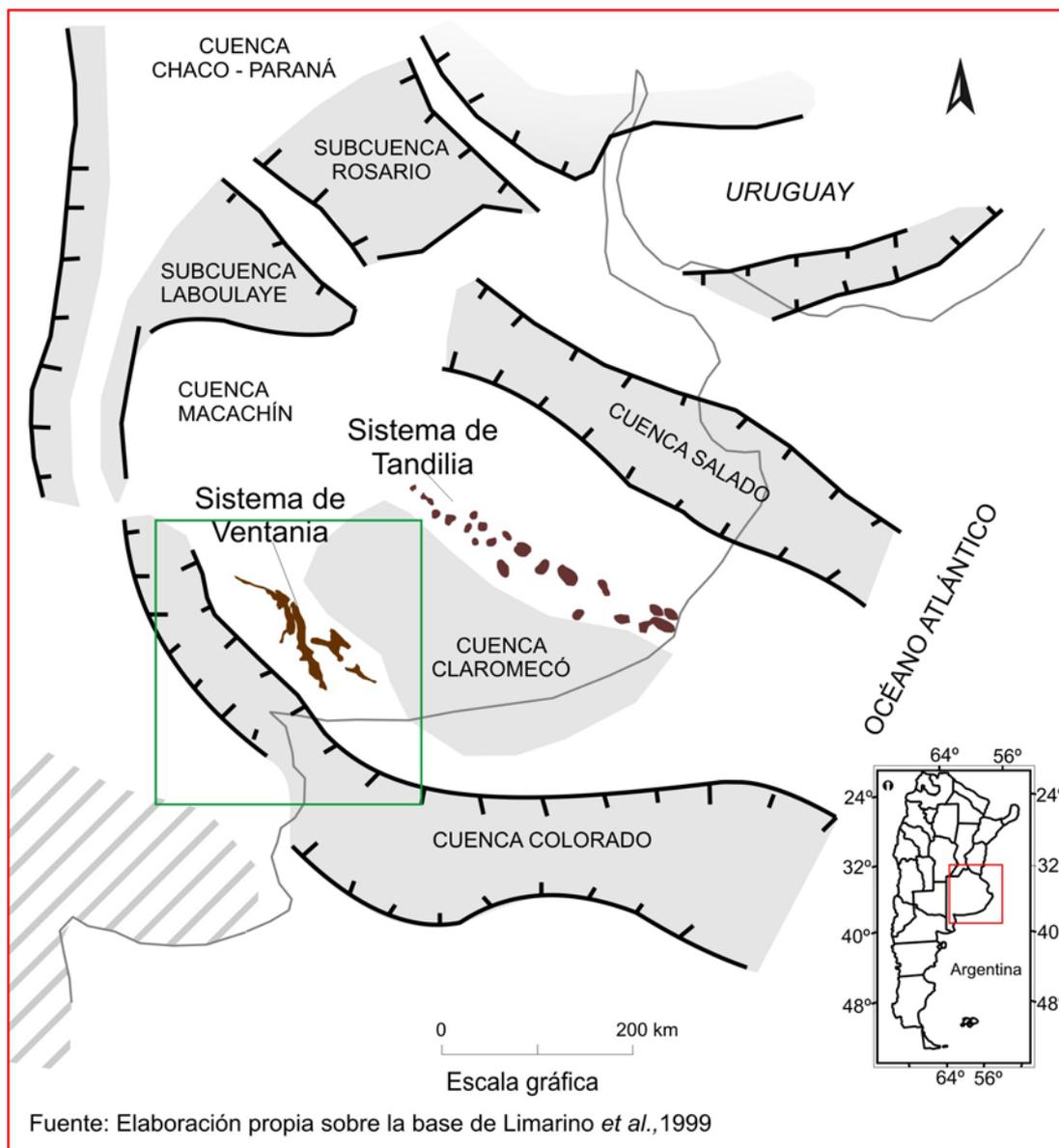


Figura 3.10. Elementos morfoestructurales del territorio bonaerense. El recuadro verde focaliza el contexto del área del Suroeste bonaerense.

3.1.2.1. Elementos morfoestructurales

3.1.2.1.1. La llanura

Abarca la totalidad de lo que Frenguelli (1950) llamó Pampa Interserrana, constituyendo el área pedemontana de Ventania y el piedemonte Suroccidental de Tandilia. Las cotas máximas son algo superiores a los 200 m en la parte central entre ambos cordones y desciende en forma gradual hacia el Sur hasta el Océano Atlántico, hacia el sistema de lagunas Encadenadas – arroyo Vallimanca al Norte y las depresiones de Chasicó - Salinas Chicas hacia el Oeste – Suroeste hasta el flanco Norte de la cuenca tectónica del río Colorado. Tiene una forma oval con eje mayor en sentido Noroeste – Sureste y se desarrolla totalmente en el subsuelo bonaerense. Se conocen algunos afloramientos de rocas del Paleozoico superior en la región interserrana como los que se encuentran en Gonzáles Chávez, Lumb, De La Garma y otros (Cingolani, 2005; Zárate y Rabassa, 2005).

Según Zárate (2005), cercana al área de las sierras la llanura está compuesta por depósitos mio-pliocenos que rematan en una potente costra calcárea. En el sector pedemontano de Ventania la red de drenaje está constituida por cursos de valles profundos (50 m de altura relativa), encauzados en el sustrato terciario. Los ríos como el Sauce Grande, Napostá Grande, Curamalal Grande, Sauce Corto presentan sistemas de terrazas fluviales, que exhiben una morfología escalonada dentro de los valles y suavizada por la cubierta sedimentaria del Pleistoceno tardío – Holoceno. Al respecto, para el río Sauce Grande, Zabala y Quattrocchio (2001) señalan tres episodios de incisión y relleno del valle fluvial de naturaleza diacrónica. Los mismos se reconocieron a partir de los depósitos acumulados durante el intervalo Pleistoceno temprano – Holoceno y que forman las terrazas fluviales del río.

3.1.2.1.2. El sistema de Ventania

3.1.2.1.2.a. Síntesis de descripción estratigráfica del Sistema de Ventania

El *Sistema de Ventania*¹ es un cordón orográfico en forma de arco de rumbo Noroeste – Sureste de 180 km de largo y 50 km de ancho en su parte central. Von Gosen *et al.* (1991)

¹ Sistema de Ventania, Ventania, cordón serrano de Ventania, Sierras Australes, Sierra de la Ventana, positivo de Ventania. Son todos nombres que representan una misma unidad morfoestructural. En la literatura científica se hace uso indistinto de estos nombres. En esta tesis se hace uso del nombre Sistema de Ventania para nombrar al conjunto y Sierra de la Ventana para uno de los cordones que compone el mismo.

lo considera como una faja plegada y corrida con importantes fallas inversas subaflorantes paralelas al rumbo de las sierras.

Las sierras que se elevan entre 400 y 700 m de la llanura circundante están compuestas por cordones sub-paralelos cuya diferencia altitudinal es marcada y debida al levantamiento diferencial de los distintos bloques. Estos cordones están separados por una depresión que forma los valles de la cuenca del río Sauce Grande hacia el Sur y la cuenca del río Sauce Corto hacia el Norte.

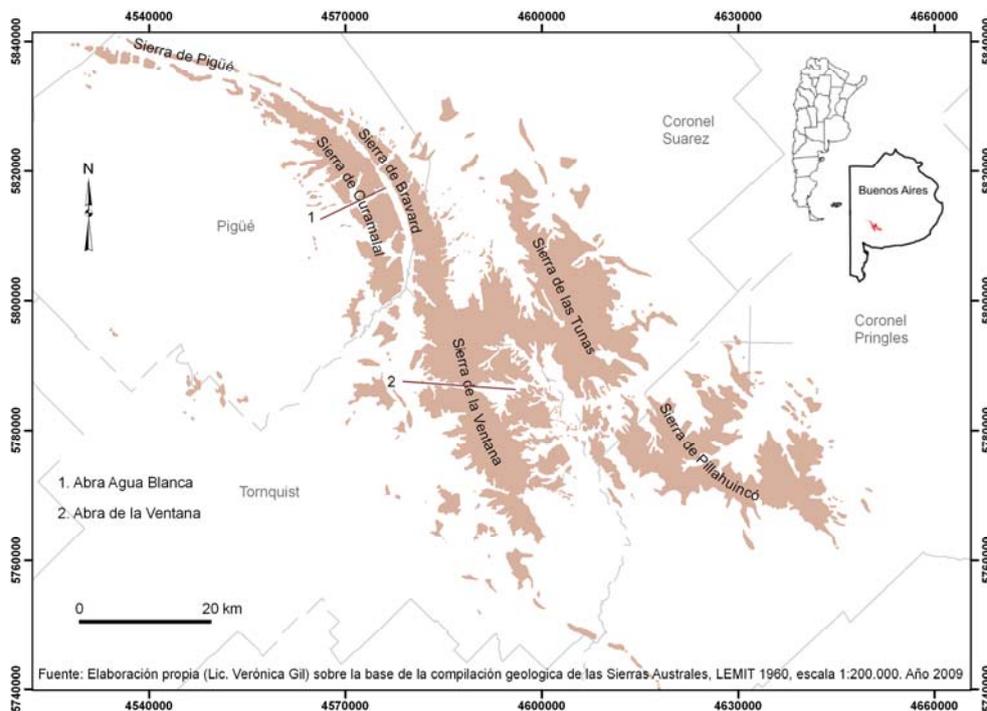


Figura 3.11. Ubicación de los cordones serranos que componen el Sistema de Ventania

El sistema (Fig. 3.11) comienza al Noroeste con las Sierras de Pigüé, en la región media del arco se encuentra un valle que continúa y separa también las Sierras de Curamalal (Oeste) de las de Bravard (Este), éstas se inician a partir del abra de Pigüé. A partir del abra Agua Blanca los cordones toman dirección Norte – Sur hasta las proximidades del arroyo La Ventana. Luego toma dirección Sur – Suroeste para retomar la dirección Noroeste – Sureste pasando el Abra de la Ventana. En el sector oriental del orógeno está constituido por las Sierras de las Tunas al Norte y las de Pillahuincó al Sur, separada la primera de las Sierras de Bravard por los arroyos Pantanoso y Sauce Corto que escurren hacia el Norte. El sector occidental está constituido por las Sierras de la Ventana que son continuación de las Sierras de Bravard. Ambos cordones (Ventana y Pillahuincó) están separados por el valle del río Sauce Grande que escurre con dirección Sur. En la

parte central las Sierras de Lolén, Mambaches y Esmeralda le dan continuidad a los afloramientos al conectar el sector oriental y occidental de las sierras. Las mayores alturas oscilan entre 900 m y 1.247 m (Cerro Tres Picos) y se observan en los cordones de Bravard, Curamalal y Ventana mientras que las Sierras de las Tunas y de Pillahuincó el área de cumbres expuestas varía entre 600 y 750 m.

Los afloramientos, que son evidencias de una importante cuenca sedimentaria del Paleozoico, se disponen en bandas arqueadas, donde las más antiguas se encuentran al Oeste y las más modernas hacia el Este. La columna estratigráfica de las rocas aflorantes está compuesta por rocas que van desde el Precámbrico tardío (basamento cristalino) hasta el Pérmico tardío (rocas sedimentarias más jóvenes) (Fig. 3.12). Se pueden distinguir tres grupos, el Grupo Curamalal ó I Ciclo sedimentario de Andreis *et al.* (1989), el Grupo Ventana ó II Ciclo sedimentario de Andreis *et al.* (1989) y el Grupo Pillahuincó ó III Ciclo sedimentario de Andreis *et al.* (1989). En el sector occidental, se encuentran afloramientos aislados de granitos, riolitas, ignimbritas que constituyen el basamento cristalino de la cubierta sedimentaria paleozoica y que Cuerda *et al.* (1975) agrupó bajo la denominación Formación Sauce Chico. Hacia el Este se encuentra en primer término el Grupo Curamalal, que está dividido en cuatro formaciones que Harrington (1947) las denominó La Lola, Mascota, Trocadero e Hinojo. Todo el Grupo está compuesto por una potente secuencia silicoclástica, predominantemente arenosa de ambiente de plataforma comenzando con un conglomerado en su base (Andreis y López Gamundi, 1985; Massabie *et al.*, 2005). Posteriormente, esta secuencia ha sido reinterpretada al menos en sus niveles basales por Zabala y Quattrocchio (2001) quienes la atribuyen a depósitos de sistemas deltaicos. Luego el Grupo Ventana compuesto por cuarcitas de características semejantes a las del grupo anterior y dividido en cuatro formaciones: Bravard, Napostá, Providencia y Lolén (portadora de fósiles eodevónicos) y que según Harrington (1947) se dispone transgresivamente sobre el Grupo Curamalal y en discordancia erosiva. El Grupo Pillahuincó comprende la sucesión

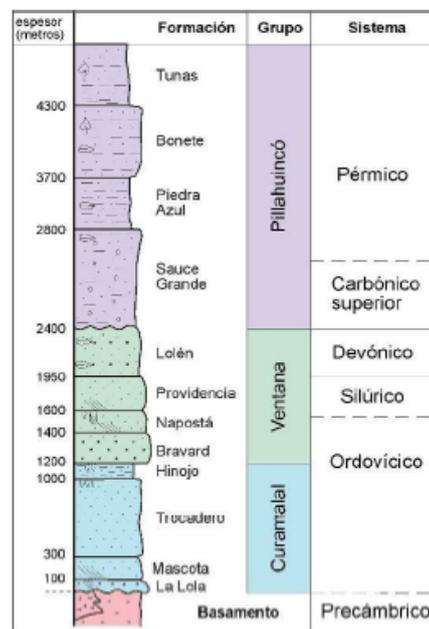


Figura 3.12. Columna estratigráfica simplificada

Fuente: Zabala *et al.*, (2000)
Reproducción con permiso del autor

sedimentaria más joven afectada por plegamiento. Su composición va desde diamictitas, conglomerados, pelitas y areniscas. El Grupo se compone de la Formación Sauce Grande, Piedra Azul, Bonete y las Tunas y sobreyace al Grupo Ventana en relación pseudoconcordante (Andreis y Japas, 1996; Andreis *et al.*, 1996). Completan la columna estratigráfica depósitos cenozoicos que evidencian un gran hiatus que abarcaría desde el Triásico hasta por lo menos el Cretácico. Este hiatus separa la Formación las Tunas mediante una fuerte discordancia de las unidades terciarias y cuaternarias. Durante este lapso se habrían generado la estructura y el orógeno actual. Aquí se destacan formas de erosión (terrazas) y depósitos de piedemonte, como los “conglomerados rojos” de edad discutida. A esta unidad siguen areniscas del Plioceno, depósitos de rodados, sedimentos areno-arcillosos de pampeano asociados a niveles de tobas, arcillas y sedimentos arcillo-arenosos del postpampeano a Holoceno y finalmente los suelos modernos y el transporte fluvial actual (Sélles Martínez, 2001) (Fig. 3.13).

3.1.2.1.2.b. Descripción de la composición litológica de las formaciones estratigráficas del Sistema de Ventania

La siguiente caracterización fue tomada de Harrington (1947) y Massabie y Rosello (1984). Su descripción permitirá la fundamentación de los análisis hidro-geomorfológicos posteriores.

Grupo Curamalal:

* La Formación La Lola está compuesta de conglomerados y areniscas de grano muy grueso. Los sedimentos de esta formación se presentan en general muy deformados tectónicamente.

* La Formación Mascota, que sigue directamente sobre la Formación La Lola, es muy uniforme. Está integrada por 200 m de areniscas cuarcíticas de grano fino a muy fino, de características muy homogéneas.

* La Formación Trocadero es la más potente de todo el grupo Curamalal, alcanza unos 700 a 800 m. Compuesta por areniscas cuarcíticas generalmente de grano fino con algunos signos de esquistosidad. En el conjunto se nota alternancia de bancos de areniscas cuarcíticas con bancos de areniscas esquistosas.

* La Formación Hinojo tiene un espesor de 100 a 150 m y está compuesta por areniscas cuarcíticas de grano fino a mediano. Estas rocas se presentan en bancos de areniscas compactas y macizas o en forma de areniscas esquistosas.

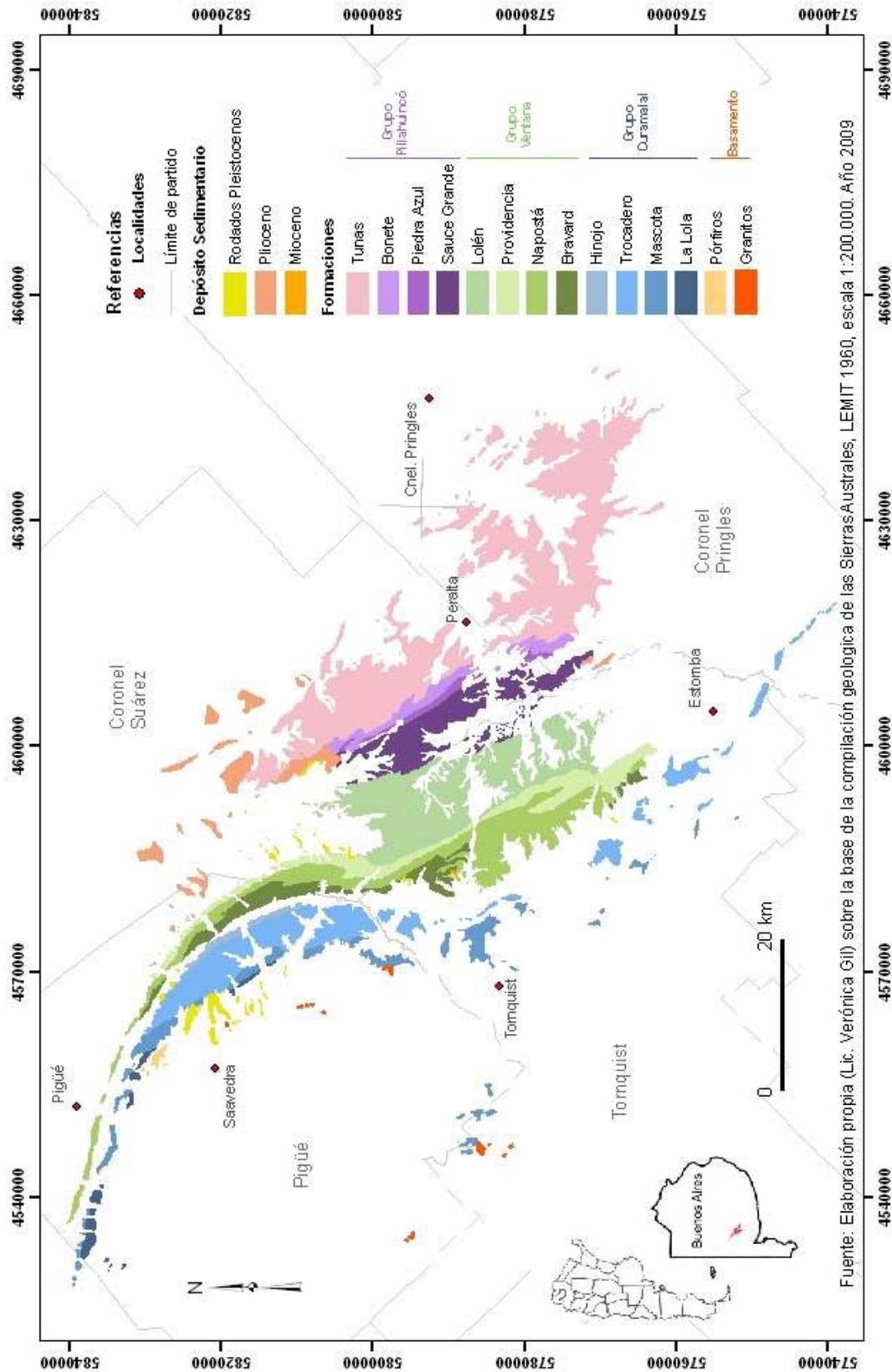


Figura 3.13 . Formaciones y depósitos sedimentarios que componen el Sistema de Ventania.

Grupo Ventana:

* La Formación Bravard, de 200 a 250 m de potencia, está integrada por areniscas de grano grueso hasta conglomerádico. Intercalados se encuentran lentes y bancos delgados de conglomerados de 2 a 3 m de espesor.

* La Formación Napostá que sigue directamente a la de Bravard está integrada por areniscas cuarcíticas muy homogéneas de grano fino a muy fino, compactas, macizas y densas.

* La Formación Providencia está formada por areniscas cuarcíticas compactas, densas y macizas en la mitad superior mientras que la mitad inferior está formada por areniscas esquistosas de grano fino entre las que se intercalan numerosos bancos de esquistos arcillosos.

* La Formación Lolén está compuesta por metaarenitas de cuarzo-feldespatomuscovita estratificadas y bancos delgados de filitas y pizarras (Harrington, 1974 y Massabie y Rosello, 1984).

Grupo Pillahuincó:

* La Formación Sauce Grande consiste en una sucesión de gruesos conglomerados, entre los que se intercalan areniscas silicificadas, esquistos cuarcíticos y esquistos arcillosos dispuestos en bancos o lentes. El espesor se estima entre unos 800 a 900 m.

* La Formación Piedra Azul tiene un espesor de 300 m máximo. Comienza con pizarras, sobre las mismas se disponen un banco de areniscas de grano grueso que están sobrepuestas por sedimentos arcillo-arenosos muy esquistosos. Sobre éstos se disponen areniscas seguidas por otra capa de sedimento arcillo-arenoso que alterna a areniscas dispuestas en bancos delgados.

* La Formación Bonete sigue en concordancia sobre la de Piedra Azul. Consiste en una alternancia, repetida, de areniscas cuarcíticas y sedimentos areno-arcillosos. Las areniscas silicificadas son macizas, compactas de grano fino. Los sedimentos areno-arcillosos son de granulometría variable, compactos y densos.

* La Formación Tunas comienza con areniscas silicificadas de grano muy fino que alternan con sedimentos areno-arcillosos. Sobre ellas se encuentra una potente serie de sedimentos arcillosos.

3.1.2.2. Análisis resumido de la estructura del Sistema de Ventania

La estructura interna del macizo ejerce un control importante sobre la morfología de las sierras (Sellés Martínez, 2001). Harrington (1947) clasificó el cordón serrano como un

sistema intensamente deformado, en el que se distinguen hasta ocho órdenes de plegamiento, dándole poca relevancia al fallamiento. Tomezzoli y Cristalini (2004) acentúan la importancia del fallamiento en el desarrollo de las mesoestructuras de la región a partir de distintas observaciones realizadas en diferentes sectores de las sierras. Realizan una sección esquemática integrada de toda la cadena montañosa donde marcan las principales estructuras observadas e inferidas en la región. Se destaca la vergencia opuesta, diferencia en el grado de deformación y en la geometría de las estructuras entre los sectores occidentales y orientales. Finalmente proponen que la explicación más consistente de la estructura presente en el sistema es el modelo basado en repeticiones tectónicas, plegamientos y corrimientos.

Dimieri *et al.* (2005) analiza las estructuras presentes en las sierras de Ventania y establecen que, según mediciones en el Grupo Ventana, los sistemas de diaclasas principales presentan una orientación asociada directamente con la estructura del plegamiento. Los juegos dominantes son aquellos perpendiculares a los ejes de los pliegues y de tipo extensionales y los juegos conjugados de cizalla que forman un ángulo obtuso bisectado por el eje de plegamiento. Los pliegues son las estructuras más llamativas de las sierras, los ejes del plegamientos tienen una orientación regional Noroeste-Sureste, cambiando hacia el Este-Noroeste en el sector noroccidental de las sierras. Existen varios órdenes de plegamiento, el de mayor tamaño tiene una semilongitud de onda de 2 km en las Sierras de Curamalal, Bravard y Ventana, en el Abra de la Ventana se han medido longitudes de onda de hasta 600 m y en las Sierras de las Tunas algunos alcanzan hasta 2 km (Harrington, 1947; Dias, 1988; Dimieri *et al.*, 2005). El estilo de plegamiento propuesto por Dimieri (1989) y Dimieri *et al.* (2005) es en las rocas de los Grupos Curamalal y Ventana asimétricos, con limbo normal largo con una orientación constante dando lugar a grandes planchones que ocasionalmente tienen leves flexuras. En el Abra de la Ventana el estilo de plegamiento es de limbo normal largo y de buzamiento mediano. Esto controla la ubicación de las quebradas de orientación Noroeste-Sureste que desembocan en abras mayores de orientación Este-Oeste. Estas abras coinciden con fallas de rumbo ya descritas por Amos y Urien (1968) para el Abra de la Ventana, Varela *et al.* (1985) en las sierras Coloradas, Cortapié y Chasicó y por Massabie y Rosello (1990) en el Abra de Rivera.

3.1.3. Etapas morfogenéticas del Sistema de Ventania y áreas adyacentes

Para el sector centro – Sur del Sistema de Ventania, donde se ubica el área de estudio, Demoulin *et al.* (2005) establecen distintas superficies de erosión que están

vinculadas con diferentes procesos de levantamiento tectónico que se produjeron desde el Cretácico o Jurásico, predatando la apertura del Océano Atlántico. Desde entonces los elementos serranos positivos han permanecido expuestos al intemperismo en forma constante. En las sierras de Bravard, Curamalal y de la Ventana la superficie de erosión más antigua y elevada se ubica entre los 900 y 800 m en la zona media (en el sector denominado Abra de la Ventana), hacia el Sur se eleva unos 150 m y hacia el Norte de las Sierras de Bravard se encuentra a unos 700 m aproximadamente. Otra superficie de erosión, la segunda se desarrolla entre los 600 y 450 m y se mantiene constante a ambos lados de los cordones serranos. Uno de los rasgos que más se destacan es la presencia de depósitos asociados que están representados por los afloramientos de la Brecha Cerro Colorado. En las sierras de Pillahuincó esta superficie de erosión se ubica alrededor de los 750 y 650 m. La segunda superficie se halla a altitudes entre los 450 y 500 m. El tercer nivel de superficies y depósitos se identifica por la excavación de los valles y las terrazas a expensas de la segunda superficie, lo cual dejó en posiciones topográficas elevadas remanentes de la Brecha Cerro Colorado.

Demoulin *et al.* (2005) proponen un modelo morfogenético para el Sistema de Ventania a partir de la interpretación de estas superficies y los eventos tectosedimentarios regionales. Esto posibilita la ubicación espacio-temporal de los procesos de erosión y meteorización que actuaron, dentro del marco tectónico del Atlántico Sur y por lo tanto su vinculación con la historia geológica de las cuencas vecinas del Salado y Colorado. El paisaje fluvial de Ventania comenzó a ser elaborado durante el Cretácico, rellenado por la Brecha Cerro Colorado entre el Mesozoico y Paleoceno y reactivado en el Cenozoico tardío. La evolución morfogenética de las sierras, está relacionada con la evolución tectónica regional dentro del contexto de rifting del Atlántico Sur y la evolución del margen pasivo Sudamericano.

Según estos autores existieron a menos tres períodos durante el cual predominó la denudación y planación y dos períodos donde fue más rápido el levantamiento tectónico (Fig. 3.14). La primer superficie es anterior a la fase de rift que condujo a la apertura del océano Atlántico austral en el Jurásico tardío – Cretácico temprano. Asimismo, la elaboración de esta superficie comenzó posterior al plegamiento de la sierra en el Mesozoico temprano donde un intervalo de aproximadamente 70 m.a permitió el desarrollo de la superficie de planación, asignándose a ésta una edad pre – Cretácica. Con el comienzo del rifting se inicia un nuevo y generalizado ciclo de erosión donde los niveles de base externos fueron controlados por la dinámica de las cuencas tectónicas vecinas. En

este período se habría iniciado entonces la excavación de las abras controladas estructuralmente por fracturas (Abras del Curamalal y del Hinojo son las más representativas). Este ciclo de erosión se encuentra reflejado en la fase de sedimentación continental registrada en la cuenca del Salado y Colorado. Después de la fase inicial de rifting del Cretácico temprano continuó un prolongado intervalo de estabilidad de 60 m.a entre el Cretácico tardío y el Oligoceno tardío que permitió la elaboración de la segunda superficie de erosión excavada a expensas del paisaje elevado del pre – rift. La evolución de esta superficie fue interrumpida por episodios tectónicos del Mioceno que resultaron en movimientos epirogénicos de subsidencia de las cuencas tectónicas y elevación de las sierras. Los mismos fueron consecuencia del aumento en la tasa de convergencia entre la placa de Nazca y Sur América resultando en la fase compressiva en los Andes.

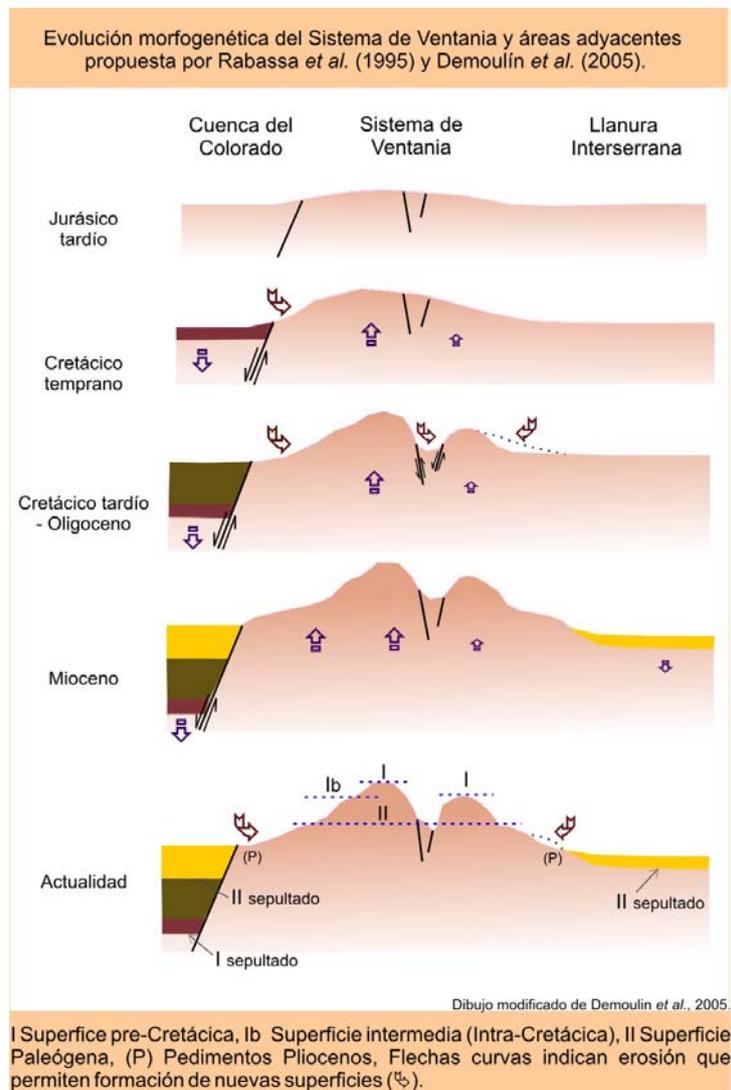


Figura 3.14. Esquema simplificado de la evolución morfofenética del Sistema de Ventania. Modificado de Demoulin *et al.* (2005) con permiso del autor.

Esto produjo la reactivación del relieve y la profundización de las líneas de drenaje. Se puede inferir a partir de la similar altitud que representa la superficie post – rift a ambos lados del cordón serrano que la cadena fue elevada uniformemente durante el Mioceno. Mientras la sierras se elevaron la llanura interserrana permaneció en una posición baja. Por lo cual, las superficies paleógenas fueron enterradas bajo depósitos continentales Mio – Pliocenos. El último episodio morfogenético se caracteriza por el desarrollo de superficies de agradación terciarias y una simultánea pedimentación en el pie de las elevadas superficies paleógenas. Estos pedimentos están conectados con las superficies Mio – Pliocenas de las cuencas del Salado y Colorado.

3.1.4. Aspectos biogeográficos del Suroeste bonaerense

3.1.4.1. Los suelos predominantes

El suelo en sentido amplio presenta varias acepciones dependiendo del punto de vista de estudio, hidrológico, geológico, geográfico, etc. (Romero Díaz, 1989). En este trabajo se describen los suelos desde el punto de vista de su comportamiento hídrico. De todas maneras se referencia un marco regional de los suelos presentes.

Para el Suroeste bonaerense corresponden cuatro Órdenes de suelo del sistema de clasificación “Soil Taxonomy”, Molisoles, Alfisoles, Entisoles y Aridisoles (Fig. 3.15). Estos se subdividen en Subórdenes, Gran Grupo y Subgrupo. En este apartado, la descripción de los mismos se realiza siguiendo los criterios adoptados por el INTA y SAGyP en el Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires (1989) y sólo se describen los Ordenes y Subórdenes. El resto de las subdivisiones y sus características se analizarán en capítulos posteriores.

Los Molisoles son los más representativos de la región. El loess es el material original predominante y los regímenes de humedad y de temperatura son factores que favorecieron su formación. Estos suelos se han desarrollado generalmente bajo vegetación de pradera y en climas que presentan una moderada a pronunciada deficiencia de humedad estacional. Los Subórdenes que están presentes en el Suroeste de la provincia son los Udoles, Ustoles y Acuoles. Los dos primeros son suelos zonales localizados en las partes altas donde el relieve es ondulado o suavemente ondulado y de buen drenaje. En tanto, los Acuoles, aparecen con mayor frecuencia en terrenos planos y bajos, con escurrimiento dificultoso.

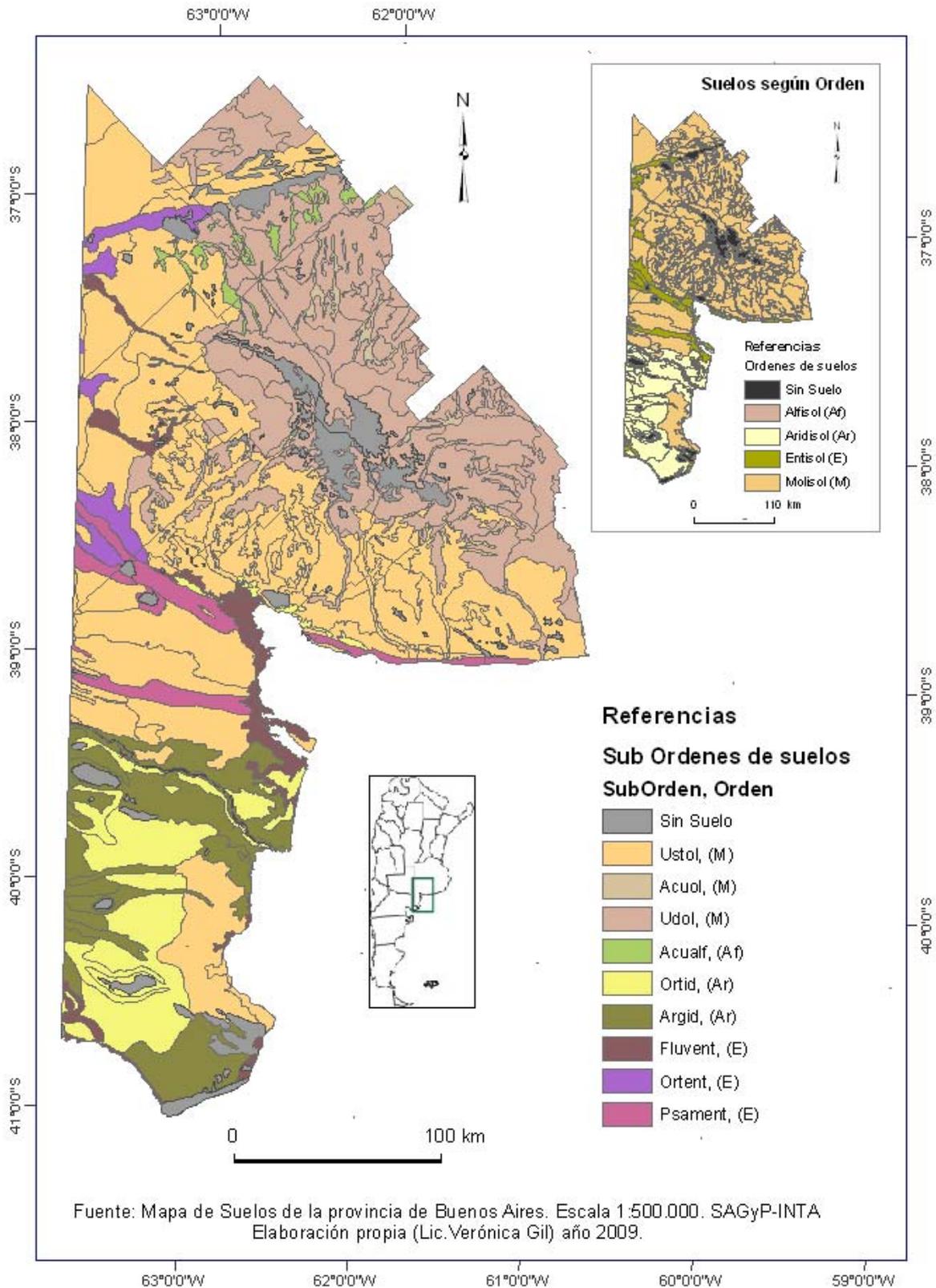


Figura 3.15. Clasificación taxonómica de los suelos en el Suroeste bonaerense.

El Orden de los Alfisoles está vinculado a regiones o zonas que poca extensión areal que presentan dificultades en el escurrimiento superficial y están sometidas a inundaciones periódicas. En el caso de la región analizada son los menos representativos y se encuentran en los partidos de Guaminí y Adolfo Alsina. Presentan un régimen de economía de agua que permite que se encuentre disponible para las plantas por un periodo que incluye más de la mitad del año.

Los Entisoles comprenden los suelos muy escasamente desarrollados. La textura del material originario es, en la mayoría de los casos, areno-franca. Son suelos cuya característica predominante es la ausencia de horizontes pedogenéticos. El suborden de los Fluventes, corresponden a los suelos cuyos perfiles constan de sucesivas capas aportadas por cursos de agua o el mar. El suborden Ortent fue reconocido en los flancos de las mesetas que se hallan en el límite con La Pampa. Son suelos franco-arenosos, profundos, con alto contenido de carbonato de calcio y pueden ser erosionados fácilmente por el agua debido a su posición en pendiente. El Suborden de los Psamentes se reconoce en la costa atlántica, en los médanos y en los arenales que colmatan antiguos valles fluviales. Estos suelos tienen excesiva permeabilidad y son afectados por la erosión eólica.

Por último, los Aridisoles que se encuentran en la porción más austral de la región (Villarino y Patagones) coincide con el régimen arídico. Estos suelos presentan períodos largos en los cuales no hay agua disponible, el horizonte superficial no es rico en materia orgánica y el agua en el perfil tiene escaso movimiento. Los dos subórdenes son: Argides y Ortides siendo los primeros los que tienen horizonte B textural mientras que los segundos carecen de él.

3.1.4.2. Territorios fitogeográficos naturales

La cobertura vegetal es otro elemento biogeográfico de gran importancia. La misma actúa como agente de protección del suelo, favorece la infiltración, amortigua la energía de las gotas de lluvia e intercepta parte del agua que llegaría al suelo si ella no estuviera (Romero Díaz, 1989). Como se ha dicho anteriormente, en la región Suroeste de la provincia de Buenos Aires quedan pocos lugares donde se preserva la vegetación clímax. La parte Sur de la región corresponde a la Provincia del Monte, hacia el Norte y rodeando las sierras por el Este la Provincia del Epinal mientras que el resto de la región (Oeste incluida las sierras) pertenece a la Provincia Pampeana. Todas ellas están incluidas en el Dominio Chaqueño (Cabrera, 1976) (Fig. 3.16).

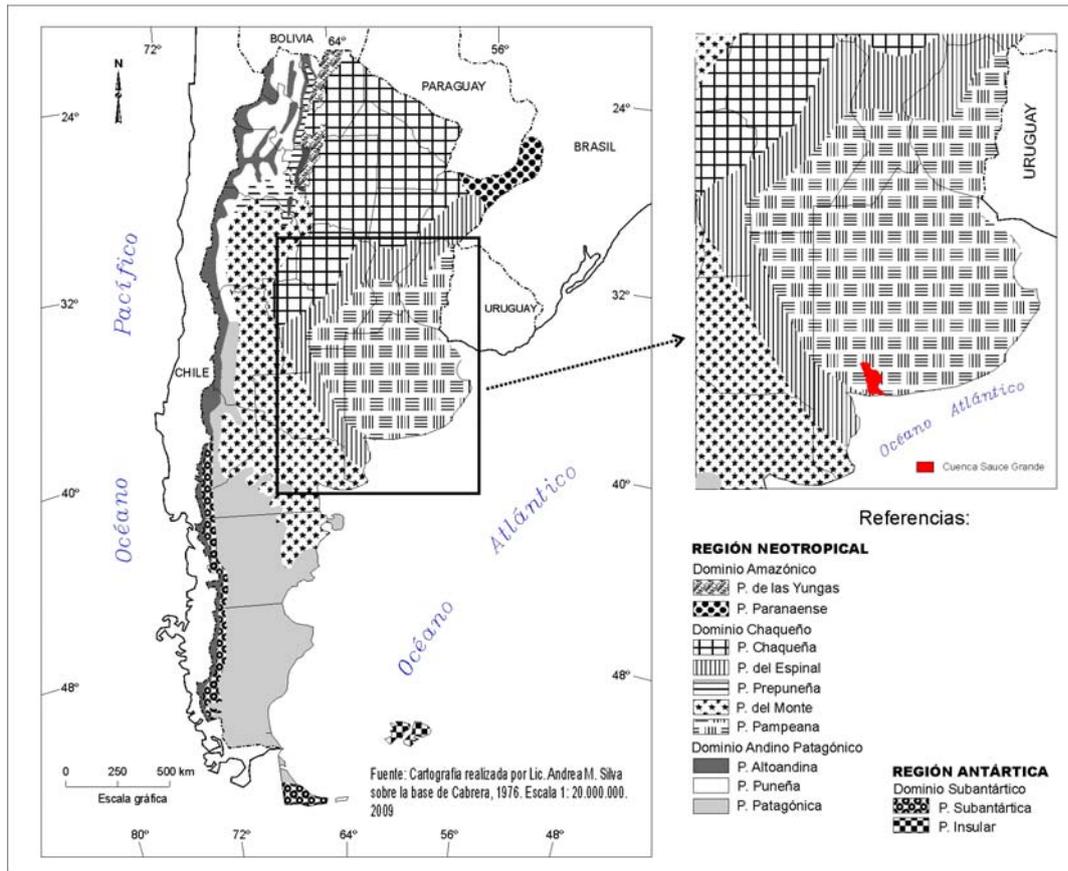


Figura 3.16. Mapa de las provincias fitogeográficas argentinas

Si bien se abordará en capítulos posteriores la cobertura vegetal propia de la cuenca alta del Sauce Grande aquí se describirá brevemente la vegetación general propia de la Provincia Pampeana. La misma se divide en cuatro Distritos: Pampeano Oriental, Pampeano Occidental, Uruguayense y Pampeano Austral. La vegetación clímax es el flechillar, esta asociación está totalmente alterada por la agricultura y la ganadería. Existen numerosas especies exóticas que rivalizan con los elementos originarios. Las comunidades edáficas son muy numerosas principalmente en el Noreste de la Provincia.

Si se amplía la escala el Distrito predominante en el área de estudio es el Pampeano Austral. El mismo se caracteriza por extenderse sobre suelos poco profundos, con rocas o con una capa de tosca dura a poca profundidad. La vegetación predominante es la estepa de gramíneas, formada por grandes matas del género *Stipa*, entre las cuales el suelo queda desnudo durante gran parte del año (Fig. 3.17). Hay varias comunidades edáficas y también las que pueden considerarse climácicas, entre ellas:

- La estepa de flechillas: riquísima en gramíneas de los géneros *Stipa* y *Piptochaetium* que se combinan en múltiples formas. También se encuentran arbustos y muchas hierbas no graminiformes que crecen entre las matas durante la primavera.
- La estepa de paja vizcachera: predomina la *Stipa caudata*, estas estepas ocupan suelos algo más húmedo que la comunidad anterior.
- La estepa de *Stipa ambigua* característica de laderas bajas y valles de Sierra de La Ventana



Figura 3.17. Pastizales basales conformados por especies del género *Stipa* entre otros.

Esta Provincia se constituye en la más adecuada para la agricultura y la ganadería. Los cultivos y los campos dedicados a la ganadería cubren prácticamente toda la superficie de manera tal que la vegetación natural ha quedado reducida a pocos espacios. Uno de ellos es el Sistema de Ventania, el cual constituye un refugio de especies con diferentes requerimientos ecológicos, lugar de especies endémicas y un lugar de conservación del pastizal pampeano en sectores protegidos.

3.2. Aspectos relevantes del contexto socio- económico

3.2.1. Breve análisis de algunos aspectos de la población en el Suroeste bonaerense

La distribución espacial de la población se relaciona con diferentes componentes. Entre ellos, los atractivos económicos, sociales y culturales, procesos de desestructuración social o crisis socioeconómicas localizadas geográficamente, habitabilidad de los ecosistemas, conectividad de las localidades, historia de las regiones y ciudades, acceso a la propiedad de la tierra, políticas públicas que afectan directa o indirectamente a la localización de la población. La provincia de Buenos Aires se caracteriza por tener un alto grado de urbanización. El 96,4 % de su población, según la medición del INDEC del año 2001, se considera urbana. El 3,6 % restantes (población rural), lo hace en localidades de menos de 2.000 habitantes y en campo abierto ya sea población rural agrupada o dispersa.

El Suroeste de la provincia de Buenos Aires (Tabla 3.1) posee 526.680 habitantes según el Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (2001). Corresponde al 3,83 % de la población total de la provincia. De estos partidos, el que posee mayor población es Bahía Blanca, siguiendo el resto de los partidos con menos de la mitad de habitantes (Fig. 3.18) Con excepción de los partidos Coronel Dorrego, Puán y Adolfo Alsina, todos tuvieron entre 1991 y 2001 un incremento de la población. Por otra parte, el partido de Bahía Blanca posee la mayor densidad de población del Suroeste al que le siguen en orden decreciente los partidos de Coronel Rosales y Monte Hermoso (Fig. 3.19).

Año 2001	
Partido	Habitantes
<i>Total de la provincia</i>	13.827.203
Bahía Blanca	284.776
Coronel Rosales	60.892
Coronel Suárez	36.828
Patagones	27.938
Villarino	26.517
Coronel Pringles	23.794
Saavedra	19.715
Coronel Dorrego	16.522
Puán	16.381
Adolfo Alsina	16.245
Tornquist	11.759
Guaminí	11.257
Monte Hermoso	5.602

Tabla 3.1. Cantidad de habitantes por partido para el Suroeste de la provincia de Buenos Aires. INDEC, 2001

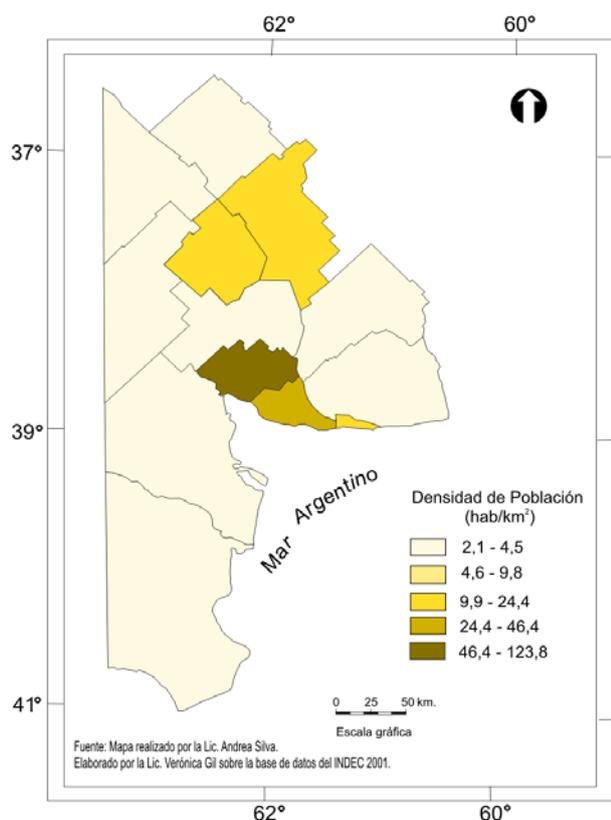


Figura 3.18. Densidad de población del Suroeste bonaerense por partido para el año 2001.

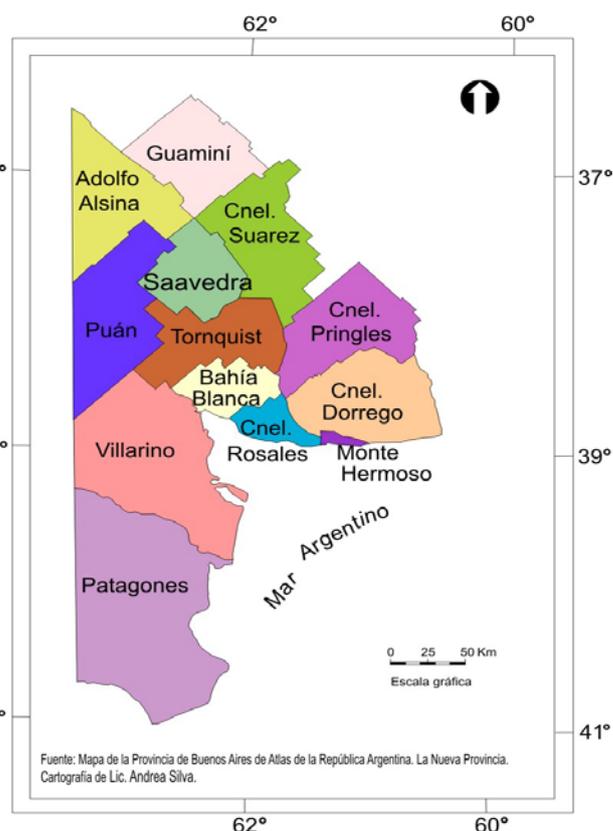


Figura 3.19. Partidos del Suroeste de la provincia de Buenos Aires.

3.2.2. El Sistema de Ventania y la llanura circundante sostén de las actividades socio-económicas desarrolladas en el Suroeste bonaerense

El Suroeste de la provincia de Buenos Aires es un área estructurante dentro del contexto provincial cuya importancia proviene en gran parte de la riqueza y de las oportunidades que ofrece su medio natural el cual incluye ambientes tan variados, complejos e interrelacionados como el serrano, el de llanura y el costero.

Históricamente, la estructuración del Suroeste de la provincia, dedicada principalmente a la agricultura y ganadería tuvo sus inicios con la ampliación de la frontera agrícola – ganadera como resultado de políticas estatales que procuraban extender el dominio territorial. El ferrocarril desempeñó un papel clave para comunicar y articular los espacios del interior de la región pampeana. Su principal función era transportar las mercaderías desde las ciudades hacia el campo y los cereales y las carnes del campo hacia el puerto. Este auge del ferrocarril propició la fundación de pueblos a la vera del tendido ferroviario. En el Suroeste bonaerense, la mayoría de los pueblos del

interior tenían un entorno productivo agropecuario que incidió en configuración espacial de los mismos. El trazado ferroviario introdujo en estos espacios antes despoblados una nueva dinámica que relacionó los intereses políticos, económicos y sociales tanto estatales como privados. En la última mitad de siglo se produjo un intenso éxodo de población desde el campo a las ciudades motivada principalmente por una modernización tecnológica y social, expansión productiva y urbanización, fenómenos que se acentuaron por el proceso de mundialización de la cultura y la economía. Esto cambió sustancialmente la organización rural (Sili, 2000; Gabella, 2009).

El paisaje agrario obedece según Sili (2000) a un plano en damero que con el paso del tiempo ha dado lugar a formas más o menos irregulares. En este espacio, los cascos de las estancias y chacras se encuentran en el centro de las explotaciones y están protegidos por vegetación introducida, principalmente coníferas y eucaliptos. Alrededor del edificio principal se ubican los galpones y casas más pequeñas para el personal. No lejos de éstos se encuentra el molino y eventualmente algún tanque australiano. Las parcelas y explotaciones rurales se encuentran conectadas por calles y caminos vecinales y éstos a las rutas asfaltadas hacia las localidades y ciudades importantes

Morello y Solbrig (1997) consideran a la llanura interserrana como el corazón triguero de la Pampa Húmeda. Los autores destacan la potencialidad agrícola de los suelos Argiudoles, caracterizados por una capa húmica importante. Tradicionalmente los cultivos más difundidos son el trigo, el girasol y el maíz. El sistema de sierras no presenta un interés mayormente agrícola pero los autores lo valoran desde su potencial uso para la actividad forestal.

Los sistemas productivos, corresponden con las características naturales del área (climáticas principalmente) y a la estructura agraria dominante. Entre los cultivos de invierno, predomina el trigo, el cual se cultiva en mayo o junio y se cosecha en diciembre-enero. La introducción de cultivos de verano como el girasol y maíz es más reciente. Esto permite al productor realizar dos cultivos en el ciclo agrícola anual y en la misma parcela. No obstante estas características, la producción agrícola ha experimentado grandes variaciones en los últimos años. Ya para el censo nacional agropecuario de 1988 la producción de cereales de invierno (trigo, avena, etc) típicos de la región había disminuido a favor de las oleaginosas, especialmente el girasol y el maíz (Sili, 2000). Esta disminución permite la expansión de otros cultivos. Según el Censo Nacional Agropecuario de 2002 para las localidades del Suroeste bonaerense el trigo continúa siendo la mayor producción, siguiendo el girasol, al cual se le agrega el cultivo de la soja 1º (primera siembra en fechas tempranas) y soja 2º (fechas tardías con otros cultivos

como antecesores) y las forrajeras (Fig. 3.20). En todos partidos se utilizan diferentes sistemas de riego. Los más utilizados son el riego por aspersión y el gravitacional. Si bien esta técnica es costosa se utiliza en las explotaciones donde se invierte mayores capitales o son necesarias debido a las condiciones climáticas. Por ejemplo, Villarino y Patagones utilizan mayormente el riego por aspersión en sus explotaciones agropecuarias y en menor medida el riego gravitacional.

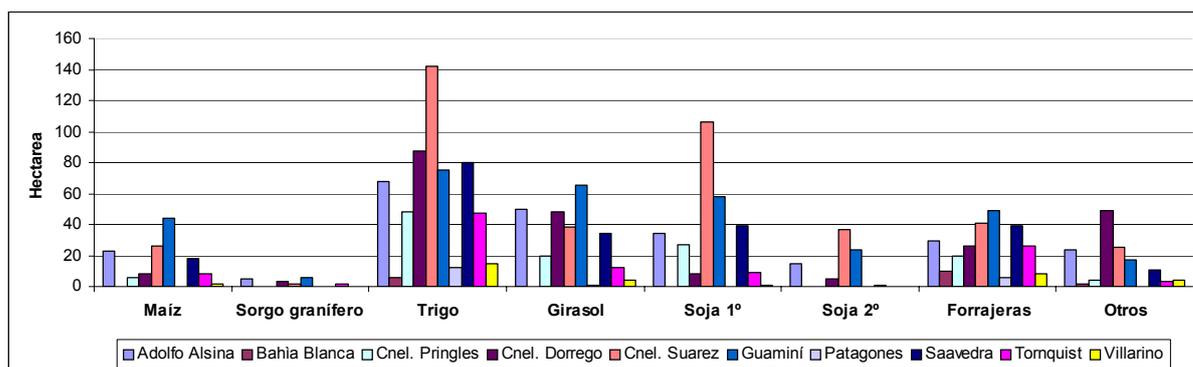


Figura 3.20. Superficie (ha) implantada con siembra directa por producto para las localidades del Suroeste de la provincia. Fuente: Censo Nacional Agropecuario 2002.

La distribución de la actividad ganadera es bastante irregular (Fig. 3.21). En los partidos del Suroeste bonaerense predominan las cabezas de ganado bovinas siguiendo en orden los ovinos (CNA, 2002).

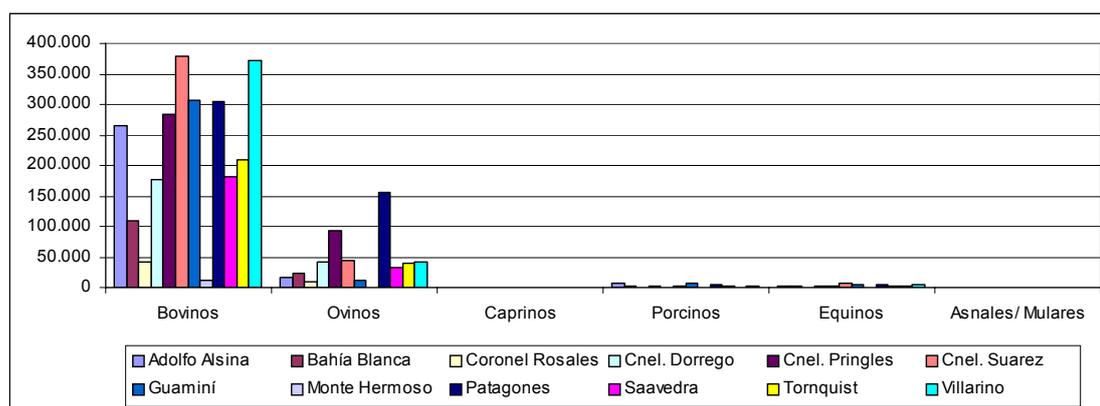


Figura 3.21. Número de cabezas de ganado para las diferentes provincias del Suroeste bonaerense. Fuente: Censo Nacional Agropecuario 2002.

No obstante estos datos, en los últimos años se observan cambios en el uso de la tierra, con diversificación en los productos primarios y nuevas alternativas productivas como la olivicultura, viticultura, los cultivos de aromáticas adaptadas a las prácticas

productivas actuales (Proyecto y fundamentos del plan de desarrollo del sudoeste Ley 13647, http://www.maa.gba.gov.ar/dir_econo_rural/plan_des_sudoeste.php).

Según datos de la Dirección Provincial de Estadística el Producto Bruto Geográfico (PBG) de la provincia de Buenos Aires genera aproximadamente el 35 % del PBI nacional, siendo la mayor contribución provincial al producto total. El Suroeste bonaerense integra el 13 % del PBG provincial.

Como centro urbano estructurador del Suroeste de la provincia se encuentra el partido de Bahía Blanca. La importancia de la ciudad homónima fue en aumento desde comienzos de siglo pasado y se presenta como centro proveedor de bienes y servicios de la zona circundante. Esto se debe a que concentra actividades relacionadas con el puerto comercial, el parque industrial, las universidades nacionales, centros de salud y centros comercializadores de productos agropecuarios. Estas actividades junto con una

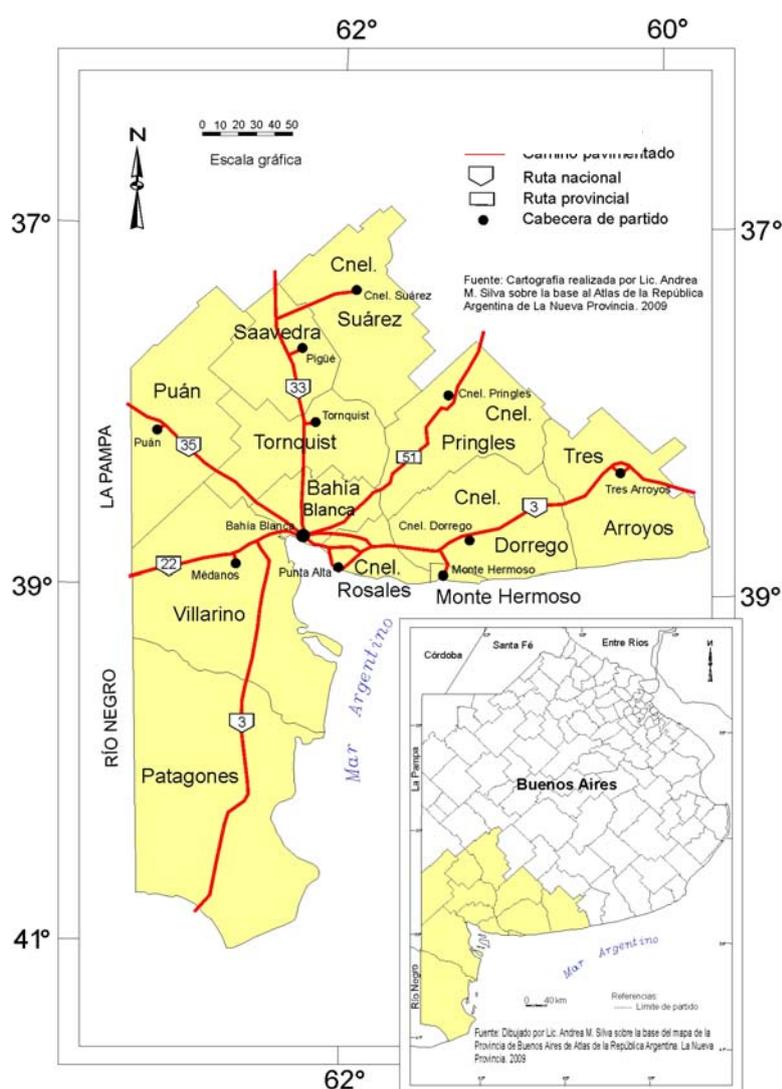


Figura 3.22. Principales localidades y red vial del Suroeste bonaerense

importante red vial (Rutas Nacionales 33, 35, 3 Norte, 3 Sur y 22 y Provincial 51) convierten a la localidad en un nodo de comunicaciones. La zona de influencia incluye entre otros los partidos de Puán, Saavedra, Coronel Suárez, Tornquist, Coronel Pringles, Coronel Rosales, Coronel Dorrego, Monte Hermoso, Tres Arroyos y Villarino (Plan Estratégico de Bahía, 1999) (Fig. 3.22).

Tanto el Sistema de Ventania como la costa, son ambientes que han cobrado importancia como atractivo turístico en la región. Se ha configurado una actividad turística regional en torno al eje mar – sierra que ha puesto en movimiento la actividad, expandiendo su interés del ámbito local regional al provincial y regional. Así, el área de estudio de esta tesis se encuentra dinamizada desde hace una década por el aprovechamiento turístico, principalmente el ecoturismo y turismo rural o de estancias. Esto provocó un crecimiento de las localidades serranas, entre ellas Sierra de la Ventana, Villa Ventana, Saldungaray y villa Las Grutas. Las mismas forman parte de la denominada Comarca Turística de Sierra de la Ventana.

Grippe y Visciarelli (2006) expresan que el crecimiento de las rentas sumado a razones de tipo fiscal y cultural explican la proliferación de viviendas de segunda residencia cuya construcción ha sido el factor más importante del consumo del espacio por el recreo en las localidades que integran la comarca serrana. Así, se percibe un incremento de la actividad terciaria relacionada con los servicios originados por el turismo. La calidad de vida es uno de los atractivos de mayor peso en la elección de este destino, no solo turístico sino de residencia. Las autoras puntualizan que esta fuerte expansión inmobiliaria se asocia al auge del turismo en la comarca. El mismo, es uno de los factores que está provocando el aumento de la población residente, el surgimiento de nuevos asentamientos, la diversificación de actividades económicas y la densificación del uso del espacio urbano. La dinámica urbana en las localidades y su entorno, presenta en la actualidad un alto grado de transformación asociado a nuevas modalidades de ocupación del espacio, así como a la aparición de nuevos usos de suelo o actividades cuya demanda deviene de las particulares formas de consumo de bienes y servicios.

Por otro lado, de la evolución demográfica de los centros urbanos del partido de Tornquist se destaca el crecimiento de Sierra de la Ventana y Villa Ventana como se observa en la figura 3.23. En el 2001, Sierra de la Ventana contaba con 1.514 habitantes (INDEC, 2001), lo que representó un incremento del 58,3 % frente a los 895 habitantes (INDEC, 1991) del censo anterior. La misma se encuentra aglomerada con la localidad

Villa La Arcadia perteneciente al partido de Coronel Suárez. Si se suman los habitantes de esta población entre ambas poseen 1.819 habitantes (INDEC, 2001).

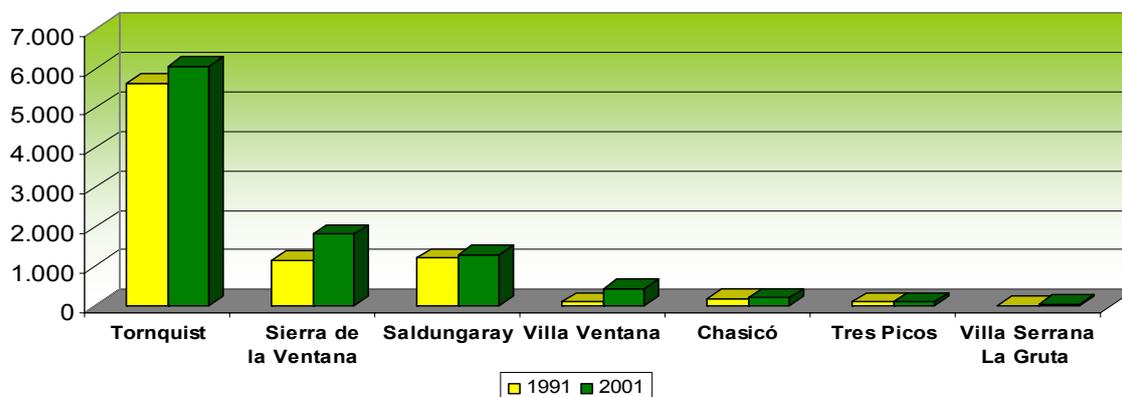


Figura 3.23. Cantidad de habitantes de las localidades que integran el partido de Tornquist.

La localidad de Villa Ventana cuenta con 446 habitantes (INDEC, 2001), cifra que cuadruplica los 100 habitantes censados en el año 1991 por el INDEC. El incremento de la población estable sumado al aumento de residentes temporarios en épocas de vacaciones y feriados comienza a enfatizar dos lógicas territoriales de funcionamiento: la de los residentes permanentes y la de los residentes temporarios. Esta nueva lógica genera nuevos conflictos (nuevos loteos, previsión de servicios básicos, cuidado del ambiente ante el crecimiento de la población, nuevas actividades económicas) que la gestión política debe tener en cuenta en la planificación y ordenamiento del espacio y la actividad turística. Estos elementos son esenciales para mantener la sustentabilidad territorial y ambiental (Grippio y Visciarelli, 2006; Caruso *et al.*, 2006).

PARTE 3

El primer cambio de escala se realiza aquí, para poder caracterizar la cuenca del río Sauce Grande a los efectos de realizar un segundo cambio de escala a la cuenca alta del río Sauce Grande. En esta área de análisis, se estudian aspectos biogeográficos y la dinámica de la cuenca a través de los elementos climáticos y los caudales. Por último se realiza una aproximación cuantitativa desde el punto de vista de la geomorfología fluvial.

CAPITULO 4 LA CUENCA DEL RÍO SAUCE GRANDE

4.1. La cuenca y el río Sauce Grande

La cuenca del río Sauce Grande es la más importante de todas las que se generan en el Sistema de Ventania. La conjunción de factores geológicos, geomorfológicos y climáticos influye en la configuración de su red de drenaje. Las divisorias de agua más elevadas están en el cordón de Ventana (cerro Destierro Primero 1.172 m, cerro de la Ventana 1.134 m, cerro Napostá, 1.110 m y cerro Tres Picos, 1.239 m, mientras que las divisorias de menor elevación se encuentran en los cordones de Las Tunas (Cerro Tres Picos de las Tunas, 692 m) y Pillahuincó (cerro Alto 693 m). En la zona de llanura, donde la influencia del cordón serrano en el escurrimiento es menor, las divisorias se tornan más difíciles de trazar, principalmente en el área de encuentro entre la llanura y los médanos costeros.

El curso principal de río (Fig. 4.1) tiene su nacimiento en el sector cercano al Cerro Destierro Primero a unos 1.100 m aproximadamente, drena las laderas orientales del cordón de la Ventana junto con otros cursos que constituyen la cabecera de la cuenca. Ingresa al valle interserrano recibiendo afluentes del cordón de las Tunas y Pillahuincó por su margen izquierda y de cordón de la Ventana por la derecha. Con dirección Nornoroeste-Sursureste llega al embalse dique Paso de las Piedras. En este lugar el caudal es de 4,5 m³/seg. A partir de allí, con el caudal regulado, continúa por la llanura recibiendo muy pocos afluentes por su margen izquierda. A partir de los 60 m aproximadamente comienza a tomar rumbo Sureste. Aquí, como explica Melo (2003), en el área de contacto entre la planicie loésica y la franja de médanos costeros, toma una dirección Oeste-Este y forma la laguna Sauce Grande. Luego el curso prosigue con similar rumbo para recibir desde el Norte por su margen izquierda el arroyo Las Mostazas y en conjunto atraviesan la cadena de médanos, logrando la salida al mar.

La cuenca (Fig. 4.2) se puede dividir en:

Cuenca Alta: es la cabecera de la cuenca donde se encuentran las mayores alturas y la mayor densidad de drenaje. Con aproximadamente 1.021, 2 km² termina donde el río Sauce Grande desemboca en el embalse Paso de Las Piedras.

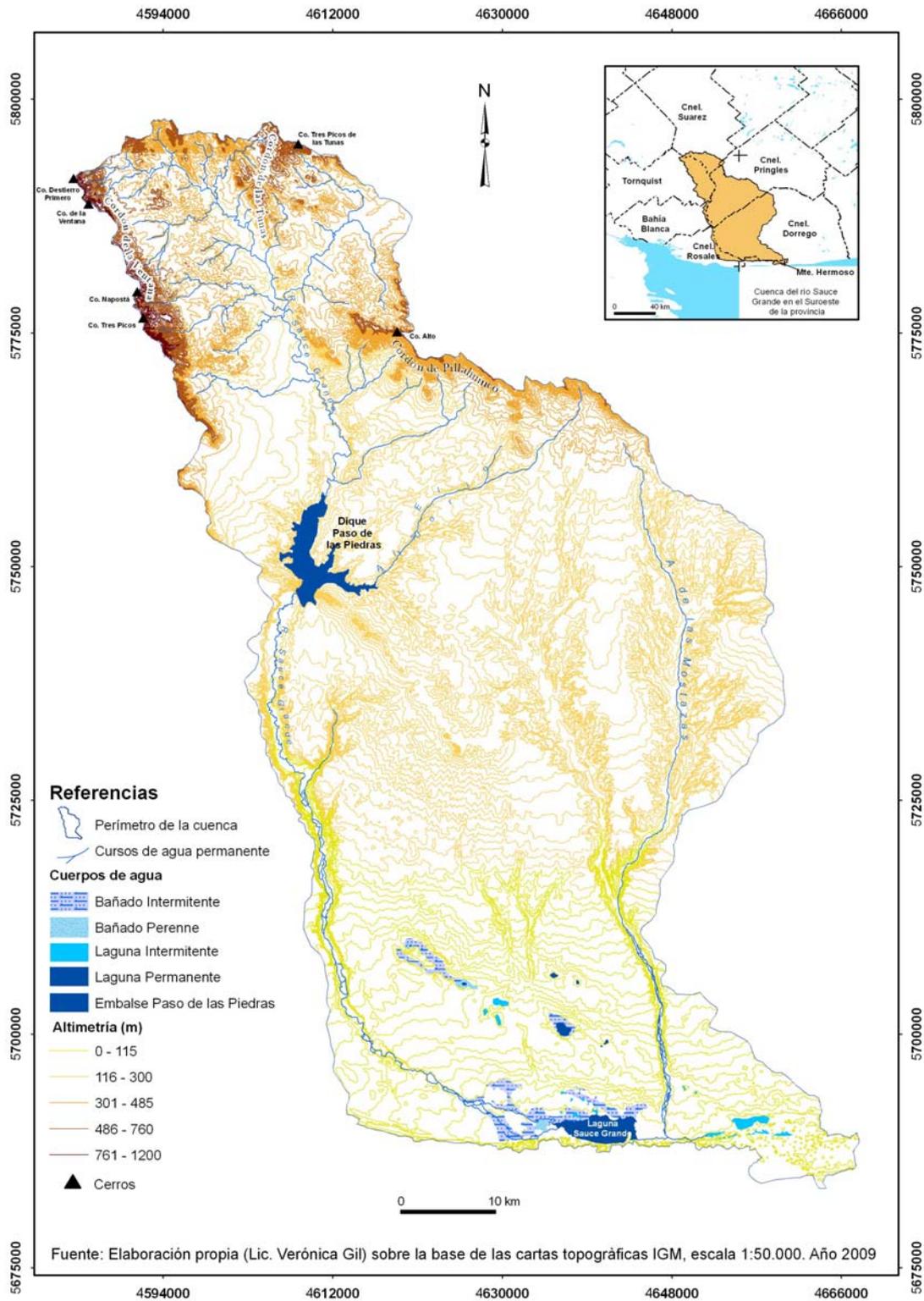


Figura 4.1. Red hidrográfica y altimetría de la cuenca del río Sauce Grande

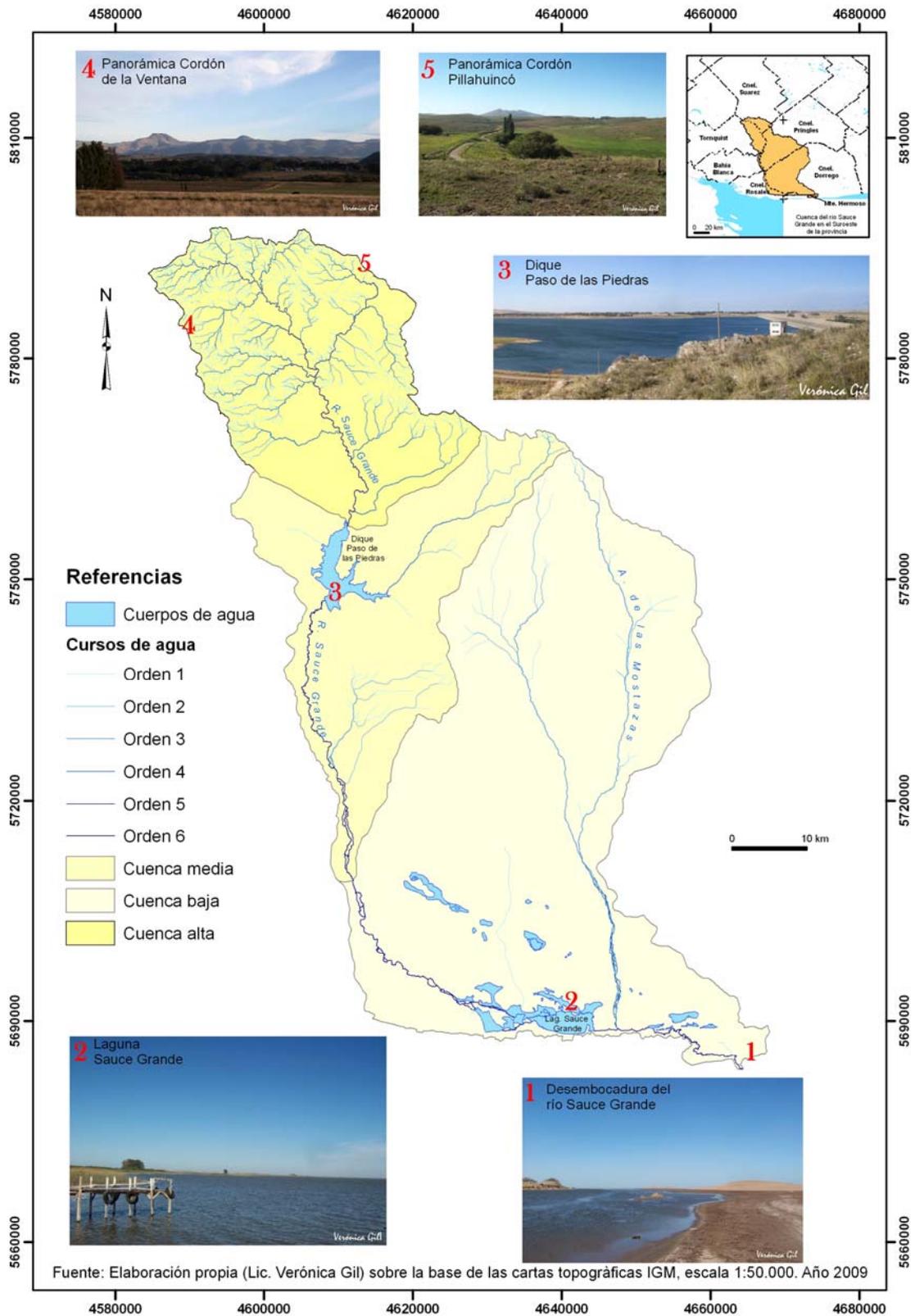


Figura 4.2. Red de drenaje jerarquizada y cuenca alta, media y baja del río Sauce Grande

Cuenca media: Incluye el embalse y llega hasta el sitio denominado Las Oscuras aproximadamente donde el río tiene la cota de 60 m. Posee una superficie de 961,5 km².

Cuenca baja: Desde el punto anterior hasta su desembocadura pasando la localidad de Sauce Grande. Su tamaño es de 2.627,3 km². En ella se encuentran numerosas lagunas y la zona costera. Una particularidad de esta parte de la cuenca es que antes de su desembocadura recibe como afluente dos cuencas, una de ellas es la del arroyo de las Mostazas. Esta situación hace que se incremente la superficie sobrepasando la superficie de la cuenca alta.

4.2. Ambientes geomorfológicos

Los ambientes geomorfológicos que caracterizan esta cuenca fueron reconocidos y caracterizados por varios autores Cappanini *et al.* (1971), Furque (1973), Rabassa (1982), Gonzalez Uriarte (1984) y Bidart (1987). De ellos los más relevantes para el área de estudio y los que mejor descripción presentan son los de Rabassa (1982) y Bidart (1987). Brevemente éstos son: las serranías, los niveles de piedemonte con cobertura loéssica, el valle del río Sauce Grande, los valles fluviales menores, bajos y cuencas endorreicas y campos de médanos costeros. Estos ambientes están clasificados teniendo en cuenta el punto de vista geológico de los autores y la escala de los mismos es regional (escalas menores a 1:50.000).

Las *serranías* se presentan en la zona de cabecera de la cuenca. Las occidentales forman crestas, hogbacks, encontrando paredones rocosos muy abruptos. Las serranías orientales son más bajas y redondeadas. Esta diferencia se debería en un principio a la diferencia de litología. Los *niveles de piedemonte con cobertura loéssica* descritos por Rabassa (1982) están caracterizados por una escarpa de erosión de unos 10 a 15 m de desnivel relativo con un gradiente de 2 a 7 grados desarrollados sólo en la cuenca alta. El autor reconoce que son pedimentos que se desarrollaron sobre sedimentitas del Plioceno y Pleistoceno inferior y que exhiben una cubierta entoscada de gravas y arenas gruesas. Asimismo, las llanuras de acumulación eólica, que exhiben zonas de posterior remoción en masa y re-depositación coluvial se encuentran dentro de esta unidad y se ubican en la parte media y baja de la cuenca.

El *valle del río Sauce Grande* está elaborado sobre un relleno sedimentario muy potente. Se reconocen en algunos tramos terrazas fluviales mientras que, la llanura o planicie de inundación actual está encajonada en un valle reciente. Los *valles fluviales menores* se observan en la zona de cabecera con mayor frecuencia, la misma disminuye a medida que el río recorre la llanura. En general la morfología de los valles en forma de “V” en los sectores serranos luego varían a perfil en U o con fondo plano. Los mismos tienen características torrenciales y transportan gran material sedimentario que se acumula en la parte baja de los valles formando un relleno aluvial.

Los *bajos y cuencas endorreicas* se dan en la zona baja de la cuenca con una posible vinculación a los cordones de médanos o asociadas a procesos de deflación. Los campos de *médanos costeros* están orientados en forma subparalela a la costa y en general han sepultado el relieve pre-existente.

4.3. Unidades litoestratigráficas presentes en la cuenca

Los afloramientos rocosos presentes en la cuenca pertenecen al Grupo Ventana y Pillahuicó. Las características de los mismos fueron descritas en la parte 2 de esta tesis. En la figura 4.3 se observa la altimetría de la cuenca alta del río Sauce Grande y la representación esquemática de las formaciones siguiendo la línea del perfil transversal A-B.

4.4. Breve historia geológica de la cuenca del río Sauce Grande

El río Sauce Grande principal colector de la cuenca se encuentra confinado por un amplio y profundo valle labrado sobre la Serie Pliocena y en menor medida sobre rocas Paleozoicas. Dentro de este valle se reconocen depósitos acumulados durante el intervalo Pleistoceno temprano – Holoceno, estos depósitos forman 3 terrazas fluviales que permiten explicar parte de la historia geológica de la cuenca. Según Zabala y Quattrocchio (2001), las mismas revelan tres episodios de incisión y relleno de valles fluviales de naturaleza diacrónica anteriores a la actual incisión del río. En comparación con otras cuencas de la región, estas terrazas, sólo se presentan en la cuenca del río Sauce Grande. A excepción de la terraza más antigua, las restantes muestran etapas de evolución similares, constituidas por un episodio de erosión, seguido por un relleno inicial de depósitos clásticos gruesos y finalizando con depósitos eólicos y fluviales en la etapa de relleno final. Los autores proponen la

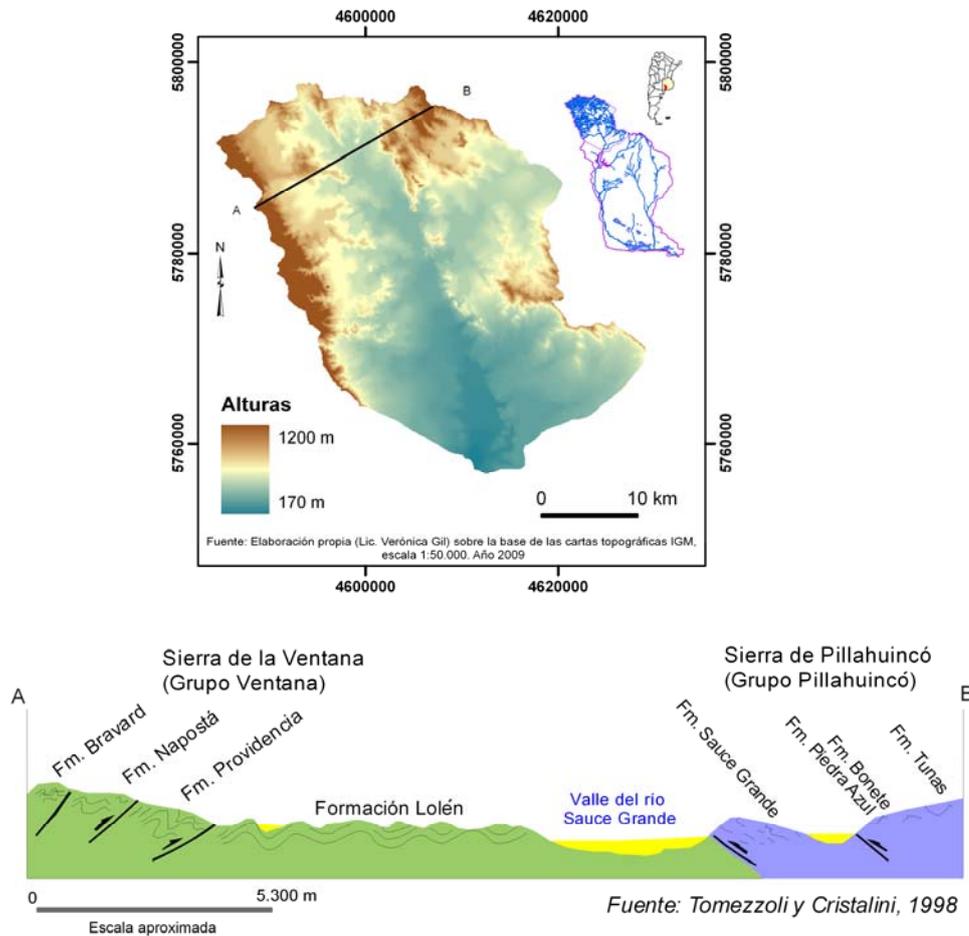


Figura 4.3. Perfil esquemático de las formaciones presentes en la cuenca alta del río Sauce Grande.

hipótesis de que los valles fluviales en el área han funcionado de manera esporádica en el tiempo como zona de transporte de sedimentos fluviales desde la zona serrana hacia la plataforma. Sustentan esta hipótesis con evidencias de campo donde se revela que los valles actuaron como zonas deprimidas secas la mayor parte del tiempo y sujetas a la no deposición o deposición eólica o por corrientes efímeras de origen local, en un ambiente árido a semiárido. Entonces, el sistema fluvial propuesto, visto de manera global se compone de tres zonas: una zona de aporte, otra zona de transporte y la zona de deposición. Lo interesante aquí, es que la zona de deposición se encontraría en la actual plataforma continental, por lo que los registros analizados por Zabala y Quattrocchio (2001) corresponderían a la zona de transporte. En el modelo evolutivo propuesto por los autores se pueden distinguir cuatro etapas: (1) erosión /no deposición, (2) relleno inicial, (3) relleno final, (4) relleno final/incisión. Los mismos estarían relacionados con ciclos que responden a factores extrínsecos (clima, tectónica y cambios eustáticos) e intrínsecos (propios del sistema).

CAPITULO 5

CARACTERÍSTICAS BIOGEOGRÁFICAS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE

5.1. Los suelos de la cuenca alta del río Sauce Grande: predominio de la asociación roca y Hapludol lítico

En términos generales, los suelos presentes en la cuenca del río Sauce Grande pertenecen mayormente al orden de los Molisoles*, sólo en el sector costero se encuentran los Entisoles*. Las sierras están presentes en la mayor parte del área de la cuenca alta. En los sectores de piedemonte, donde se desarrolla el suelo, en ocasiones se interrumpe por afloramientos rocosos, compuesto principalmente por roca metamórfica. En la cuenca media y baja está cubierta por sedimentos loésicos cuaternarios de espesor variable y limos arcillo arenosos que llevan incluidas concreciones calcáreas. Estas a veces, están cementadas con caliza y forman una capa variable espesor. Estas concreciones, denominadas toscas en la región, aparecen generalmente en el área de las sierras a más de un metro de profundidad y comienza a encontrarse entre los 30 cm a 2 m de profundidad, de manera discontinua, en las zonas de piedemonte (Lores, 1979).

Las características del plegamiento y la disposición final del basamento en el área que comprende el Sistema de Ventania originó, hacia el Suroeste, laderas con pendientes muy pronunciadas y abundante afloramiento rocoso, mientras que las laderas ubicadas hacia el Noreste generalmente presentan pendientes más suaves, permitiendo la deposición de loess (Lizzi, 2007). Según SAGyP - INTA (1989) se distinguen en el área de la cuenca alta del río Sauce Grande el Dominio Edáfico 1 y el Dominio Edáfico 2. El primero esta representado por la Unidad Cartográfica 1a y 1d, mientras que el segundo por la Unidad Cartográfica 2c. Estas unidades representan las distintas asociaciones de suelos (Fig. 5.1)

En la figura 5.2 se observa que los suelos dominantes se corresponden con una asociación entre roca (altamente diaclasada) y Hapludol lítico, franco arcilloso, excesivamente drenado, con contenido de materia orgánica y somero (23 cm). En el sector de piedemonte y en cercanías a los cursos de agua se desarrollan y asocian los Hapludoles típicos y Argiudoles típicos con diferentes características de textura, posición,

* Descripción general realizada en el Capítulo 3. Contexto físico-ambiental a escala regional de la zona de estudio.

drenaje, profundidad y fase entre otras (Tabla 5.1). El suelo Hapludol petrocálcico se encuentra en la Unidad Cartográfica 2c y dentro de la asociación ocupa un 20 % de representatividad. Debido a esto no se lo incluyó en la tabla.

ORDEN	Molisol			
GRAN GRUPO	Hapludol		Argiudol	
SUB GRUPO	Lítico	Típico	Típico	Típico
TEXTURA (horizonte superficial)	Franco-arcillosa	Franca-arcillosa-arenosa a franca	Franco-arcillosa a franca	Franco-arcillosa
FASE		Suavemente inclinada	Suavemente inclinada	Somero (50 a 25 cm)
PROFUNDIDAD	Muy somero (27 cm)	Profundo (130 cm)	Somero (120 cm)	Somero (79 cm)
POSICION	Afloramiento rocoso	Pendiente	Pendiente	Pendiente
DRENAJE	Algo excesivamente drenado	Bien drenado	Bien drenado	Bien drenado
SIMBOLO	$M_{18}li$	$M_{18}tci$	$M_{17}tci$	$M_{17}tcsi$
UNIDAD CARTOGRAFICA EN QUE SE PRESENTA	1a	1d	1d y 2c	2c
OBSERVACIONES	El horizonte A1 contiene fragmentos de roca y tosca	Se ubican en las partes altas de las pendientes laterales de la zona interserrana	Se ubican en las pendientes laterales y en las partes planas con presencia de loess	El perfil suele interrumpirse por presencia de tosca

Tabla 5.1. Características de los suelos presentes en la cuenca alta del río Sauce Grande. Según el Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires (SAGPyA – INTA, 1989).

Por otra parte, una de las características importantes de los suelos es la textura. La misma determina la capacidad de retención de agua, entre otras. El sistema más difundido para la clasificación de texturas es el empleado por el U.S. Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). La misma se basa en los porcentajes de arenas, limos y arcillas presentes en los suelos. Así, mientras las arenas pueden drenar fácilmente el agua, en un suelo arcilloso los poros son demasiados pequeños para un adecuado drenaje. En cuanto a la capacidad de retener el agua, Strahler (1974) explica que las arenas alcanzan su máxima capacidad muy rápidamente y el agua adicional es drenada mientras que los suelos arcillosos muy francos absorben el

agua muy lentamente y si la irrigación es muy intensa el agua se perderá por escorrentía superficial. Las texturas francas intermedias presentan propiedades favorables para la

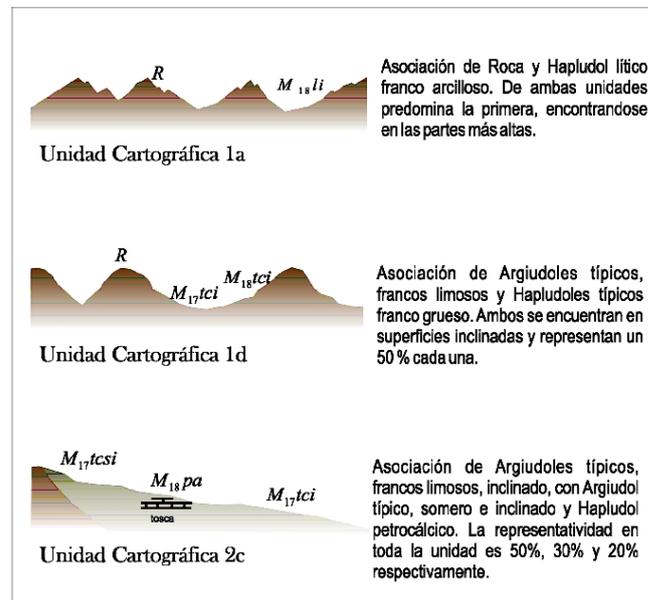


Figura 5.1. Asociaciones correspondientes a cada Unidad Cartográfica y su distribución en el paisaje.

(modificado de SAGyP y PNUD, 1989)

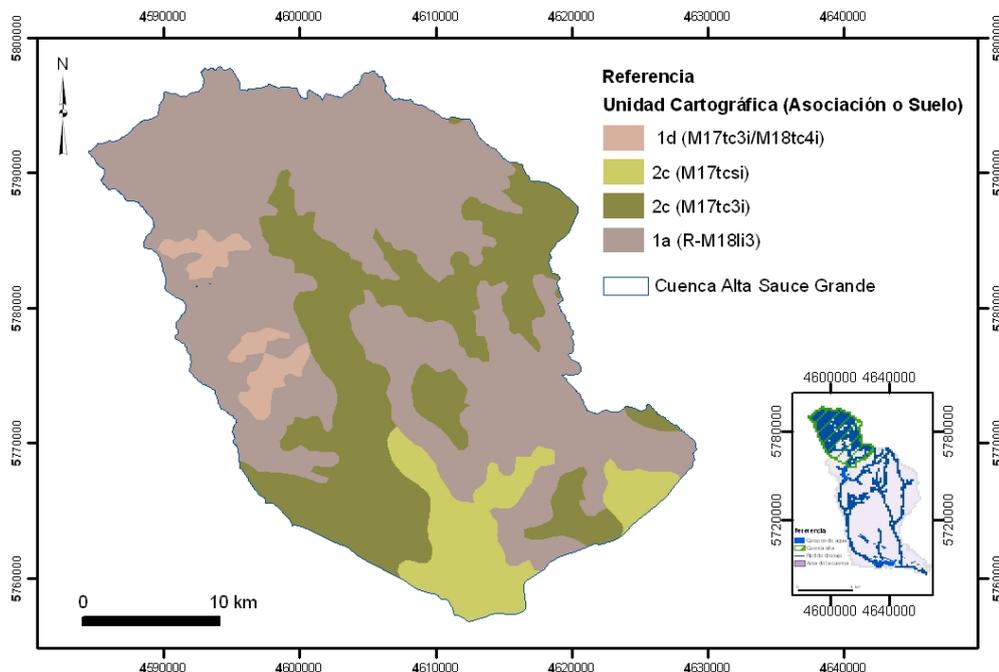


Figura 5.2. Unidades cartográficas y suelos de la cuenca alta del río Sauce Grande.

(modificado de SAGyP y PNUD, 1989)

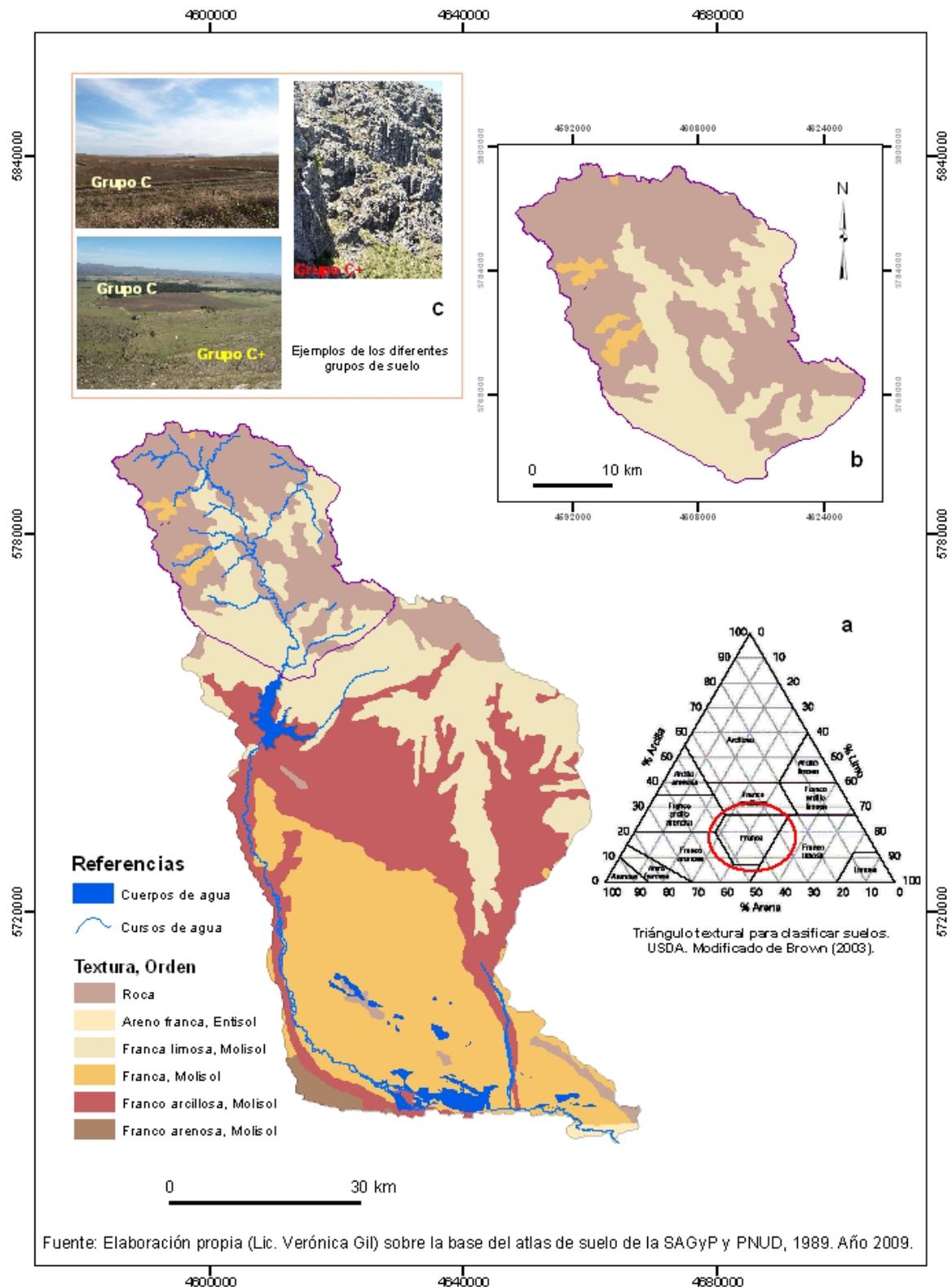


Figura 5.3. Textura de los suelos en la cuenca del río Sauce Grande. (a) triángulo textural (b) detalle de la cuenca alta (c) sectores de la cuenca alta con diferentes grupos hidrológicos de suelos

retención y drenan bien el agua. Los suelos presentes en la cuenca presentan texturas francas en su mayoría (Fig. 5.3).

5.2. Los suelos desde el punto de vista hidrológico

El Natural Resources Conservation Service (NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) define 4 grupos hidrológicos de suelos (A, B, C, D) basados en la textura, estructura, grado de expansión en condiciones de saturación, capacidad de transmisión del agua y profundidad de nivel freático. La semejanza de los suelos considerando estas características indica similares condiciones de escurrimiento (U.S. Department of Agriculture, 2009)

Diferentes autores explican las características para cada grupo de suelo, entre ellos el U.S. Department of Agriculture (2009) Chow *et al.* (1994). Para el área de estudio Luque *et al.* (1979) agregó a estas clasificaciones las características propias de la región.

La asignación de un Grupo a cada suelo de la cuenca establece características básicas de comportamiento hidrológico. Cabe aclarar aquí que esta gran clasificación es a una escala chica, por lo cual la representación es muy general. Sin embargo esto permitirá la correlación con otras variables a estudiar (morfometría, hidrogeomorfología, etc.) aplicado a la dinámica de la cuenca ante eventos de precipitación. En el caso que corresponde al sector de sierras, predominan los afloramientos rocosos asociados con suelos Hapludoles líticos. Al estar el material que compone las sierras muy diaclasado se lo consideró como Grupo C+ ya que posee características del Grupo C y Grupo D (Torrero, 2009), cuando se observa la presencia de roca expuesta sin elevado grado de diaclasamiento (40 %) se lo considera D. El resto de los suelos al ser francos y franco arenosos se los considera dentro del Grupo C (Fig. 5.3. c). Se detallan aquí las características de cada grupo de suelo según los autores anteriormente mencionados.

Grupo A: Los suelos tienen bajo potencial de escurrimiento cuando están saturados de agua (potencial de escurrimiento mínimo). El agua se transmite libremente por el suelo. Son de textura arenosa o areno-limosa. En caso de presencia de loess, éste es profundo. Incluye suelos recién arados. En general la capacidad de infiltración es alta.

Grupo B: Los suelos tienen un moderado a bajo potencial de escurrimiento cuando están saturados de agua (potencial de escurrimiento bajo). La transmisión del agua a través del suelo es buena a moderada. La capacidad de infiltración es superior a la media, aún después de estar humedecidos. Comprende suelos arenosos menos profundos y de textura franco-arenosa.

Grupo C: Los suelos tienen un moderado a alto potencial de escurrimiento cuando están saturados de agua (potencial de escurrimiento medio). La transmisión del agua en el interior del suelo es restringida. Son de textura franca, franco-limoso y franco-arenoso-limosos, poco profundos en general. La capacidad de infiltración es inferior a la media una vez humedecidos o mojados.

Grupo D: Los suelos tienen un alto potencial de escurrimiento (potencial de escurrimiento alto). La transmisión del agua en el interior del suelo es muy restringida o casi nula. Comprende los suelos arcillosos, los rocosos de montañas y todos aquellos que presentan horizontes impermeables cerca de la superficie. La capacidad de infiltración es baja en general.

Por otra parte, el análisis conjunto de los grupos hidrológicos permitirá, junto a los datos de infiltración, realizar una mejor caracterización de las áreas en los mapas hidrogeomorfológicos del capítulo 9.

5.3. La vegetación de la cuenca alta del río Sauce Grande: pastizales y endemismos

La vegetación de la cuenca corresponde al Distrito Austral de la Provincia Fitogeográfica Pampeana. Los pastizales, cubren un área extensa de la provincia de Buenos Aires. Esta reviste una importancia particular por las singularidades de su ambiente, su riqueza florística y sus endemismos, su valor como recurso forrajero, sus servicios en el control de erosión o su valor turístico y recreativo (Cabrera, 1976; Lizzi *et al.*, 2007).

A una escala mayor, en la cuenca alta del río y en presencia del cordón serrano la diversidad de hábitats permite que se desarrollen más de cuatrocientas especies nativas de plantas vasculares (Kristensen y Frangi, 1995). Frangi y Bottino (1995) determinaron

seis complejos de vegetación casmofítica* de los roquedales, siete comunidades de pastizales de sierra y tres matorrales. En los pastizales peri-interserranos dominan los pajonales de *Stipa caudata* (paja vizcachera). En los pastizales serranos dominan la *Briza subaristata* y flechillas (*Stipa spp.* y *Piptochaetium spp.*). Los autores definieron prados de altura dominados por *Festuca pampeana* y *F. ventanica* (endémica), donde aparece *Sorghastrum pellitum* como codominante. En los pastizales intermedios, en barrancas bajas y húmedas próximas a cursos de agua se desarrolla un pastizal denso de *Paspalum quadrifarium* (paja colorada). Asimismo, Frangi y Barrera (1996) explican que el deterioro y la arbustización de los pastizales disminuyen con la altitud.



Fotografías cedidas por
G. Zapperi.

Figura 5.4. Diferentes especies del pastizal pampeano. Entre ellas *Paspalum quadrifarium*, *Cortaderia selloana* y *Eryngium sp.*

En la actualidad, la vegetación natural está siendo invadida por especies introducidas de rápida propagación. A las distintas especies de cardo y otras especies distribuidas en toda la región pampeana, se añade aquí la incorporación de coníferas para forestación de las sierras. Estas plantas compiten por el nicho ecológico con las nativas, atentando contra uno de los últimos remanentes de pastizal natural de la

* Vegetación sobre afloramientos rocosos.

provincia (Casado, 2005). Asimismo, Ricci (1996) señala que varias unidades de vegetación fueron y están modificadas por el pastoreo, el fuego o ambos.

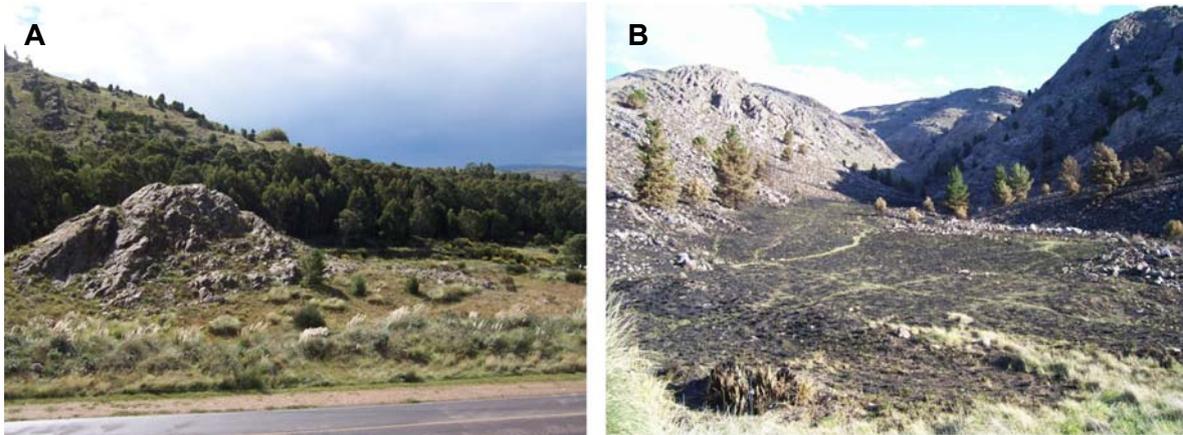


Figura 5.5. A. Vegetación introducida (coníferas) que gana espacio a las especies autóctonas. B. Vista de un sector serrano luego de un incendio. Fotografías tomadas por la autora.

La topografía y disposición del sistema serrano determina variaciones micro-climáticas en función de la altitud, la exposición y la pendiente. La vegetación se adapta y distribuye en función de estas condiciones, por lo cual la flora presenta una particular disposición. También, las características edáficas permiten el desarrollo de diferentes hábitats para el desarrollo vegetal: los roquedales serranos, las planicies de valle (donde se extienden los suelos Argiudoles y Hapludoles anteriormente analizados) y los cursos de agua. En consecuencia, la vegetación serrana se agrupa en distintas comunidades según condiciones micro-climáticas y edáficas de distribución (Kristensen y Frangi, 1995; Lizzi, 2004).

5.3.1. Diferenciación de vertientes solanas y umbrías

La exposición de las laderas respecto al sol es uno de los factores más importantes que regulan la distribución y presencia de vegetación.

Según Kristensen y Frangi (1995) las laderas entre 550-850 m presentan afloramientos oblicuos, abruptos y los bloques conservan muy bien la humedad. La vegetación presente incluye gramíneas y helechos en los espacios interbloques, en las fisuras, cuevas y aleros. En la partes superior de las pendientes con exposición Oeste-Suroeste se encuentra el *Plantago bismarckii* (endémico) (Fig. 5.6.). En los sectores bajos, con suelos someros, crece la *Mimosa rocae*. La *Festuca pampeana* y la *Polystichum sp.* crecen sobre las laderas expuestas al Sur y Oeste.



Figura. 5.6. *Plantago bismarckii* (llantén plateado)

La insolación que reciben las laderas es una condicionante de la temperatura y la humedad. La disposición general del cordón serrano, Noroeste – Sureste, determina que las laderas orientadas al Sur – Suroeste posean menor insolación, con condiciones climáticas más húmedas y frías. Por el contrario, las expuestas al Norte y Noreste presentan mayor insolación pero menor inclinación y rocosidad. Estas características influyen en la distribución y estructura de la vegetación. La figura 5.7 representa la exposición de las laderas de la cuenca alta del río Sauce Grande. En la misma se pueden distinguir claramente dos zonas con orientaciones predominantes. La primera, con dirección Este, corresponde al sector Oeste de la cuenca y coincide con el cordón de Ventana. Mientras que la segunda, con dirección Oeste, corresponde al sector Este de la cuenca. Aquí se encuentra el cordón de las Tunas y Pillahuincó. En el límite entre estas dos zonas, se encuentra el curso principal del río Sauce Grande.

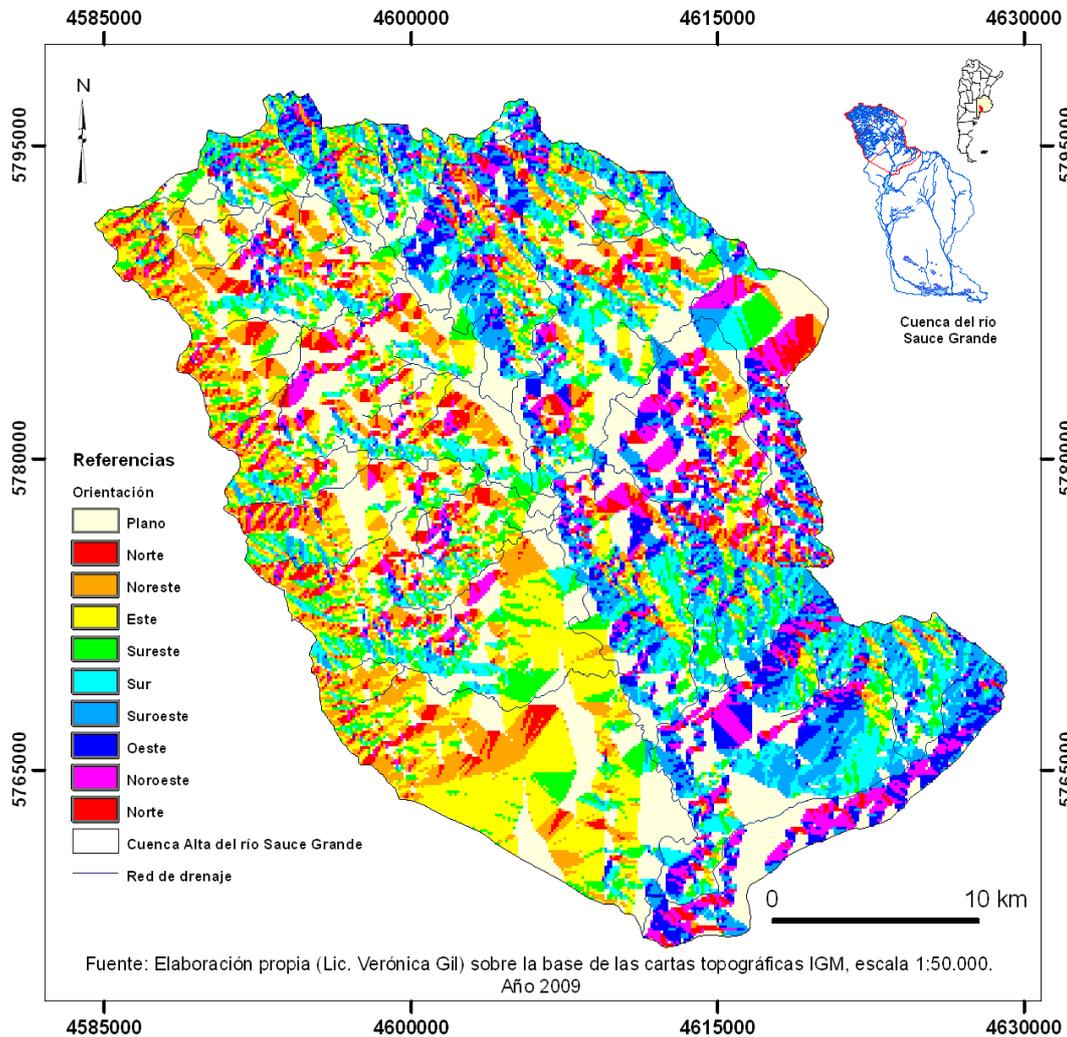


Figura 5.7. Mapa de exposición de las laderas de la cuenca alta del río Sauce Grande.

Por otra parte, a fin de conservar el pastizal pampeano, se creó en 1936 el Parque Provincial Ernesto Tornquist, reserva natural que posee una superficie de más de 6.700 ha. El Parque se encuentra localizado a la vera de la Ruta Provincial Norte N° 76 y abarca parte de las nacientes Noroccidentales de la cuenca del río Sauce Grande. La reserva incluye, además del pastizal, especies endémicas de flora y fauna, lo que aumenta su valor como área de conservación (Fig. 5.8).



Figura 5.8. Parque Provincial Ernesto Tornquist. Fotografías de los accesos por la Ruta Provincial Norte N° 76. Fotografías tomadas por la autora.

CAPITULO 6

LOS ELEMENTOS CLIMÁTICOS y LOS CAUDALES: LA DINÁMICA DE LA CUENCA

El estudio de los elementos climáticos sirve de base para la explicación del comportamiento hídrico de una cuenca y determina diferentes procesos morfogenéticos que se dan en el área de análisis (Romero Díaz, 1989). Este análisis examina especialmente la distribución anual y estacional de los elementos que están directamente relacionados con los procesos hidrológicos superficiales (Campo de Ferreras, 1999).

Los elementos climáticos que afectan en gran medida al balance hídrico, influyen en el desarrollo de la vegetación de una región son la precipitación, la temperatura, la dirección y la velocidad del viento (Sheng, 1992). Es necesario para caracterizar el clima de un lugar el análisis de la forma, cantidad y distribución de la precipitación, las oscilaciones anuales y estacionales de la temperatura así como las medias diarias y el número de días con heladas. Asimismo, el estudio del viento debe abarcar dos aspectos, la dirección y la velocidad (Campo de Ferreras, 1999).

6.1. El comportamiento de los elementos climáticos

6.1.1. El diagrama ombrotérmico

El diagrama ombrotérmico, representación gráfica donde se ponen en relación los datos de precipitación y de temperatura, permite identificar períodos secos a la vez que muestra las características generales que se presentan a lo largo del año. En este estudio se presentan conjuntamente con la localización de las estaciones meteorológicas analizadas 3 diagramas ombrotérmicos (Fig. 6.1). Se toma como referencia el correspondiente al período 1961-1980 ya que son los únicos datos oficiales que se encuentran en la cuenca alta. Las precipitaciones presentan dos máximos anuales, otoño y primavera. Se observa un período seco que corresponde a los meses del verano, donde los valores de temperatura son mayores a los de la precipitación. Se destaca que la escala utilizada 1:5 para los diagramas ombrotérmicos responde a las modificaciones realizadas por Campo y Ramos (2009) de la forma de representación gráfica climática para climas templados de transición.

Los diagramas realizados para el año 2007 y 2008 muestran la marcha anual de los datos analizados y destacan la variabilidad de las precipitaciones de un año a otro. En este caso, los valores de temperatura se acercan a la media climática, manteniendo casi

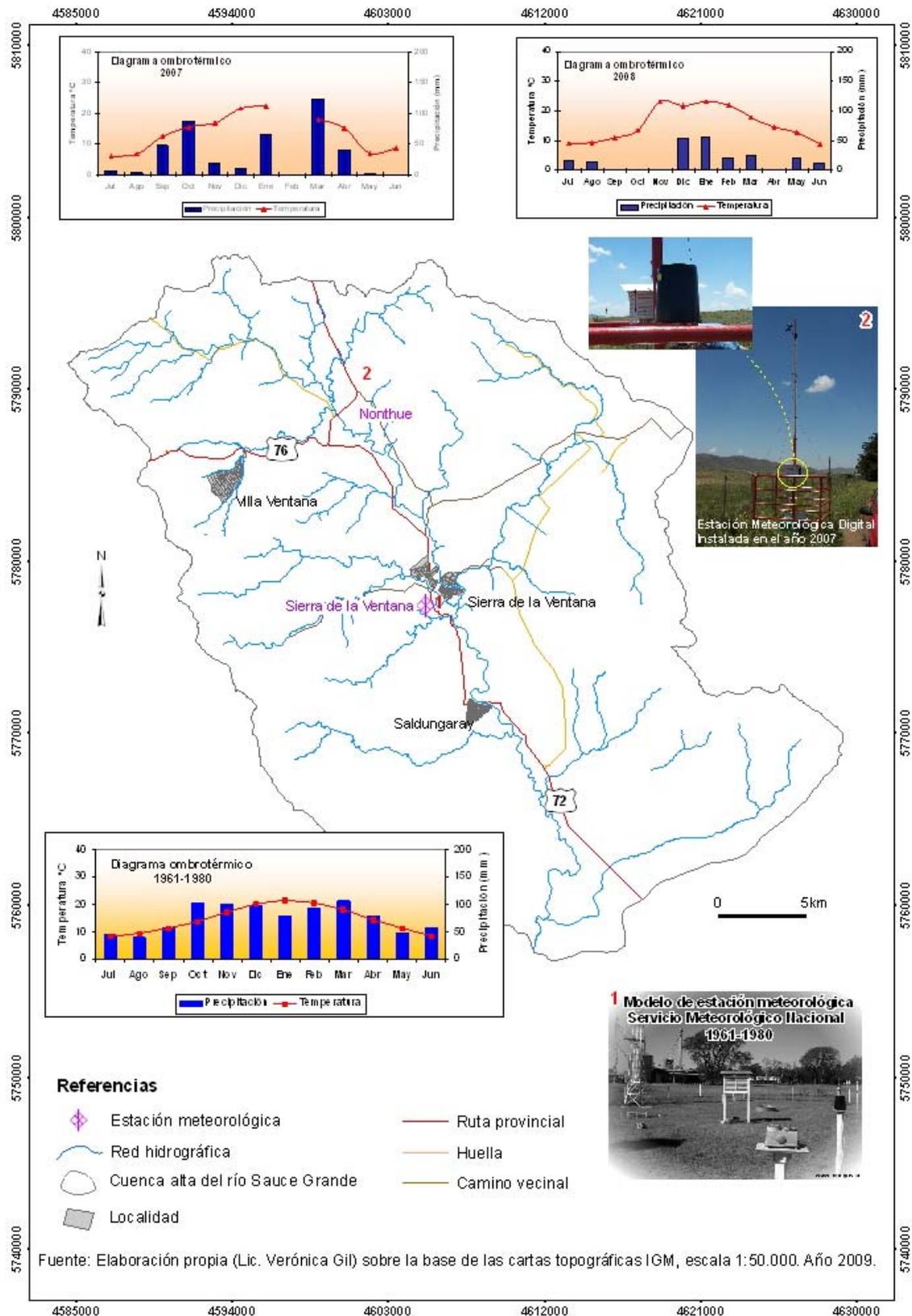


Figura 6.1. Localización de las estaciones meteorológicas y diagramas ombrotérmicos según los registros de cada periodo.

la misma distribución a lo largo del año. La variación se produce en los datos de precipitación, donde los picos máximos esperados, otoño y primavera, coinciden sólo para el año 2007. Casi todos los meses se presentan con condiciones secas, condición que refleja la situación regional de extrema sequía en estos últimos 3 años.

6.1.2. Las temperaturas según los datos históricos y actuales en la cuenca alta del río Sauce Grande

La temperatura es un elemento importante que se relaciona con el relieve, la precipitación, la vegetación y el suelo a diferentes escalas. Varía en el espacio y el tiempo siendo además continua (King, 1984). Según el análisis de los datos estadísticos provenientes del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1961-1980. La temperatura media anual para la estación Sierra de la Ventana es de 14,5 °C, este valor se mantiene para las dos décadas analizadas. Los valores mínimos medios de temperatura se registran entre junio y agosto y según la década se pueden observar registros mínimos en mayo y septiembre. En junio se dan los valores mínimos absolutos. En la década de 1961 – 1970 el valor mínimo medio fue de 2,9 °C en el mes de julio y el mínimo absoluto fue de -9,8 °C en junio. En la década de 1971 - 1980 el valor mínimo medio fue de 5,8 °C en mayo y el mínimo absoluto fue de -7,7 en junio. En los meses de verano, entre diciembre y febrero, los valores oscilan entre 20-22 °C. La variación se observa si se analizan los valores máximos medios y absolutos. En el período 61-70, el máximo valor medio es de 29,8 °C en enero y el valor máximo absoluto de 39,2 °C en diciembre. La década siguiente, presenta el valor máximo medio en enero (30 °C) y el máximo absoluto en diciembre (39,9 °C). Las figuras 6.2 y 6.3 muestran la marcha de las temperaturas medias, máxima y mínima (medias y absolutas) para cada década analizada a lo largo del año.

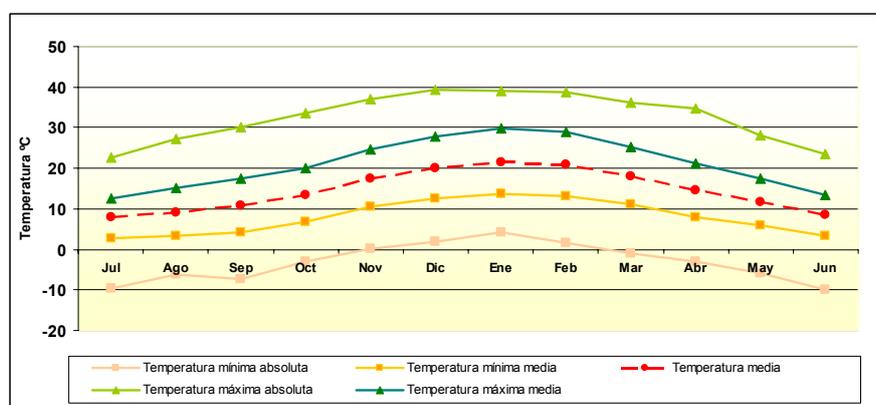


Figura 6.2. Distribución anual de temperaturas medias y absolutas de la estación Sierra de la Ventana para el período 1961-1970. Fuente: Estadísticas climatológicas del S.M.N. (1981)

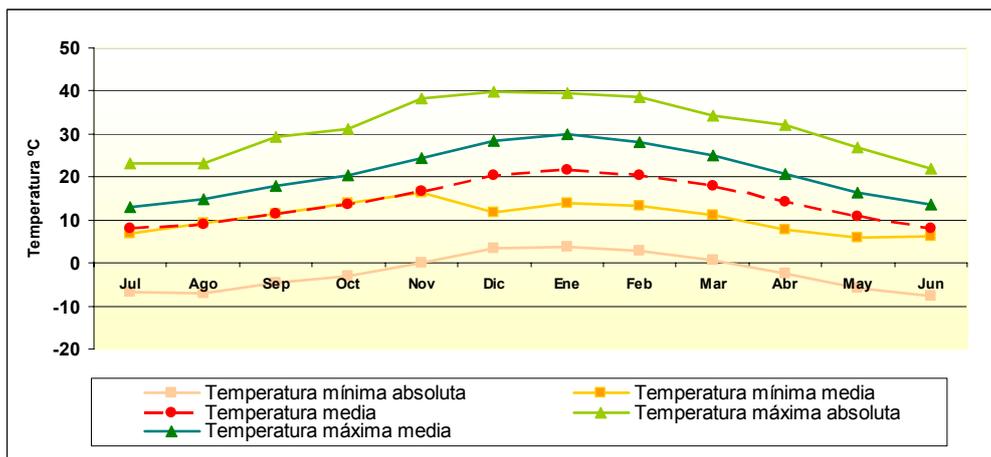


Figura 6.3. Distribución anual de temperaturas medias y absolutas de la estación Sierra de la Ventana para el período 1971-1980. Fuente: Estadísticas climatológicas del S.M.N.(1986)

Las diferencias térmicas medias mensuales (Tabla 6.1) presentan un ciclo anual que se inicia con un descenso de temperatura a partir del mes de enero hasta culminar en junio-julio. A partir de aquí las temperaturas medias comienzan a ascender mes a mes. El aumento o disminución de temperatura no se producen en forma gradual sino que el período de calentamiento entre el invierno y el verano se produce de forma más lenta que el período de enfriamiento entre verano-invierno.

MESES	1961-1980 °C
Enero-Febrero	0,9
Febrero-Marzo	2,7
Marzo-Abril	3,5
Abril-Mayo	3,0
Mayo-Junio	3
Junio-Julio	0
Julio-Agosto	-1,1
Agosto-Septiembre	-1,9
Septiembre-Octubre	-2,5
Octubre-Noviembre	-3,5
Noviembre-Diciembre	-3
Diciembre-Enero	-1,3

Tabla 6.1. Diferencias térmicas mensuales medias

Estación Sierra de la Ventana (1961-1980). S.M.N. (1981, 1986)

El efecto de continentalidad se evidencia cuando se analizan las oscilaciones térmicas o amplitudes medias anuales (Capelli de Steffens *et al.*, 1994). Para la totalidad del período (1961-1980) la amplitud térmica anual es de 13,2 °C. En este caso, si bien es acusada, en comparación con otras localidades de la región del Suroeste bonaerense, es la más baja. En cuanto a las oscilaciones mensuales entre décadas se registran diferencias del orden de los 6,8 °C principalmente en el período invierno-primavera (Tabla 6.2). Sin embargo, si se analizan por separado las amplitudes térmicas mayores, para cada década, se dan en los meses de verano.

	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
61-70	9,7	12	13,1	13,3	14,1	15,3	16	15,8	14,1	13,2	11,7	10	13,2
71-80	6,1	5,7	6,4	6,5	8	16,8	16,2	14,9	13,8	12,7	10,6	7,5	13,2

Tabla 6.2. Amplitudes térmicas para Sierra de la Ventana. S.M.N. (1981-1986)

Por otra parte, el análisis de las temperaturas inferiores a 0 °C es importante debido a que éstas se convierten en un agente geomorfológico de gran importancia y constituye un evento extremo (Romero Diaz, 1989). Para la cuenca alta del río Sauce Grande el período con mayor frecuencia de heladas se da entre junio y agosto según las estadísticas climatológicas (Tabla 6.3). La variabilidad interanual también es marcada y se observan registros en marzo o en noviembre, siendo éstos los menos frecuentes. Es importante destacar aquí que la estación considerada se ubica a una altura de 260 m, lo cual supone cierta influencia en la cantidad de días en que se producen heladas en comparación con las zonas más elevadas de las sierras.

Días con heladas	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Anual
61-70	8	8	5	1	0,1	0	0	0	0	1	4	7	34,1
71-80	7	7	5	2	0	0	0	0	0,4	1	4	7	33,4

Tabla 6.3. Número medio de días con heladas para la estación de Sierra de la Ventana. S.M.N. (1981-1986)

La instalación de la estación digital permitió verificar registros actuales de valores por debajo de 0 °C. En el año 2007 estos valores se dieron entre el mes de mayo y agosto. Entre ellos el mes con mayor frecuencia de registros bajo cero fue julio donde se

produjo un evento extremo entre los días 7 y 13 de julio del 2007. En ese período la temperatura media diaria varió entre los $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se registró una temperatura mínima absoluta de $-9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ a las 5:30 de la madrugada del día 9. Las mínimas absolutas del día oscilaron entre los $-2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ y los $-9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este caso es de particular importancia ya que los sectores con menos turbulencia en los ríos estuvieron congelados durante 4 días (Fig. 6.4).



Figura 6.4. Sector del río Sauce Grande con una capa de hielo. Año 2007

Si se tiene en cuenta el gradiente vertical de temperatura se puede inferir que la intensidad de las heladas son mayores a medida que se aumenta la altura por lo cual los procesos actuantes son mayores. Sumado a esto se encuentran las diferencias entre laderas solanas y umbrías y la disposición de las mismas respecto a los vientos predominantes, lo cual puede acentuar el efecto de la helada. Todo esto influye también, como se describió en el capítulo correspondiente a aspectos biogeográficos, en el desarrollo de la vegetación, factor importante a nivel geomorfológico.

Asimismo, si bien las características térmicas decádicas son semejantes si se analizan los valores medios anuales y mensuales, éstos presentan variaciones y se intensifican las diferencias (Fig. 6.5). Las medias anuales, para el año 2007 y 2008 fueron de $13,3\text{--}15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ respectivamente. Mientras que las amplitudes medias anuales se mantuvieron en $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tabla 6.4).

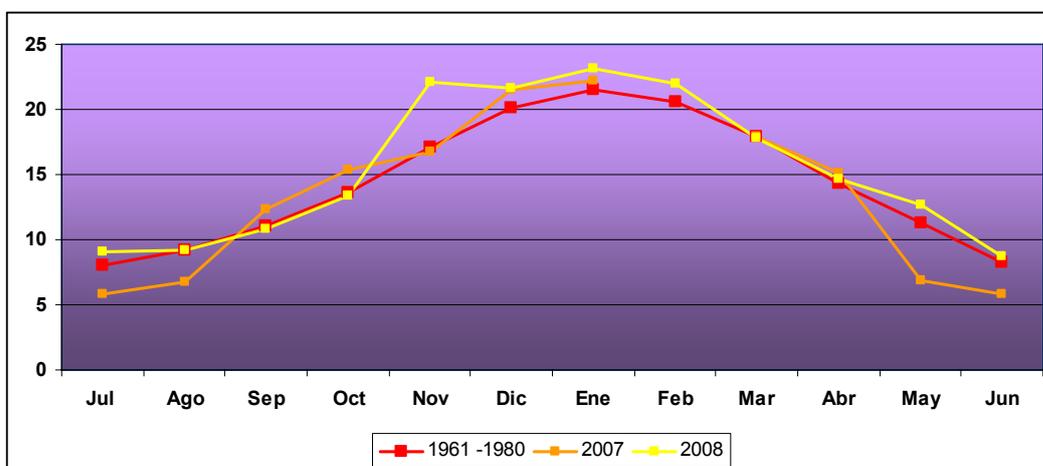


Figura 6.5. Variación de la temperatura media mensual del año 2007 y 2008 respecto a la media del período 1961 – 1980. S.M.N. (1981-1986)

2007	Temperatura (°C)			
	Media	Máxima media	Mínima media	Amplitud
Ene	22,1	30	14	15,9
Feb	**	**	**	**
Mar	17,9	24,4	12,1	12,3
Abr	15,1	21,6	8,6	13
May	6,8	13,5	0,7	12,7
Jun	8,4	15,8	13,8	17,7
Jul	5,7	12,2	-0,4	12,6
Ago	6,7	13,9	0,2	13,6
Sep	12,3	18,4	6,5	11,9
Oct	15,4	21,3	9,2	12
Nov	16,6	24,9	8,4	16,5
Dic	21,4	30,6	11,9	18,6
Anual	13,5	20,6	7,7	14,2

2008	Temperatura (°C)			
	Media	Máxima media	Mínima media	Amplitud
Ene	23,1	32,1	14,2	17,9
Feb	21,9	31,7	14,8	16,8
Mar	17,8	25,3	11,1	14,2
Abr	14,6	23,3	6,6	16,7
May	12,7	20,2	6,5	13,7
Jun	8,7	13,8	3,2	10,6
Jul	9,1	14,2	4,3	9,9
Ago	9,2	15,7	2,6	13,2
Sep	10,8	17,1	3,9	13,2
Oct	13,4	19,3	7,6	11,7
Nov	22,1	32,0	16,2	15,8
Dic	21,6	30,3	13,8	16,5
Anual	15,5	22,9	8,7	14,2

** Sin dato

Tabla 6.4. Temperaturas medias, máximas y mínimas medias y amplitudes térmicas para el año 2007 y 2008 en la cuenca alta del río Sauce Grande. Estación Nonthue.

6.1.3. Análisis anual y estacional de las frecuencias por direcciones del viento

La predominancia del viento regional es del cuadrante Norte en las localidades situadas al Norte del Sistema de Ventania en tanto que hacia el Sur se destacan mayores frecuencias de componente Norte y Noroeste (Campo de Ferreras *et al.*, 2004).

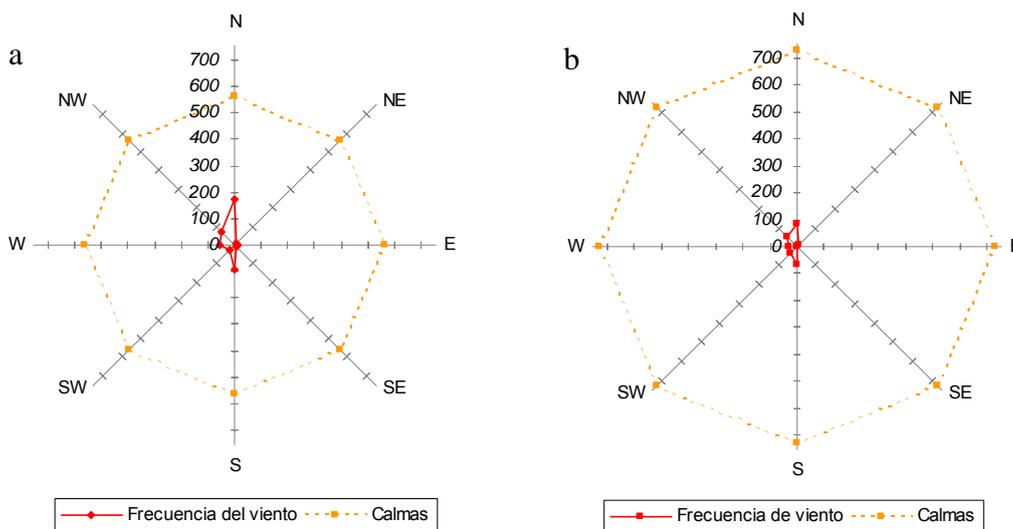


Figura 6.6. Rosa de los vientos para la estación Sierra de la Ventana. Frecuencia (%) para el período 1961-1970 (a) y 1971-1980 (b)

Los datos de la estación meteorológica Sierra de la Ventana indican que la predominancia del viento Norte se mantiene tanto para la década 1961-1970 como para la de 1971-1980 (Fig. 6.6). El viento Sur es la segunda frecuencia mayor para ambas décadas y se destaca la alta frecuencia de días en calma (723 ‰ para 1961-1970 y 557 ‰ para 1971-1980). El emplazamiento de la estación, cercano a los cordones serranos, influye sobre la predominancia de las frecuencias de viento y las calmas.

A partir de datos actuales se realizaron las rosas de los vientos anuales (Fig. 6.7) y estacionales para el año 2007 y 2008. Esto permite un análisis más exhaustivo de la información. En este caso la frecuencia de días en calma es mínima, para el año 2007 fue de 3,16 ‰ y de 2,27 ‰ para el año 2008 (debido a la escala utilizada en la rosa de los vientos no se representaron las calmas). La frecuencia mayor sigue siendo la del viento Norte para ambos años, siguiendo en orden los vientos del cuadrante Nornoroeste, Sureste y Sursureste. En la figura 6.7.b se observa cómo la vegetación arbórea crece y se adapta a la frecuencia del viento predominante tomando la forma típica del árbol bandera.

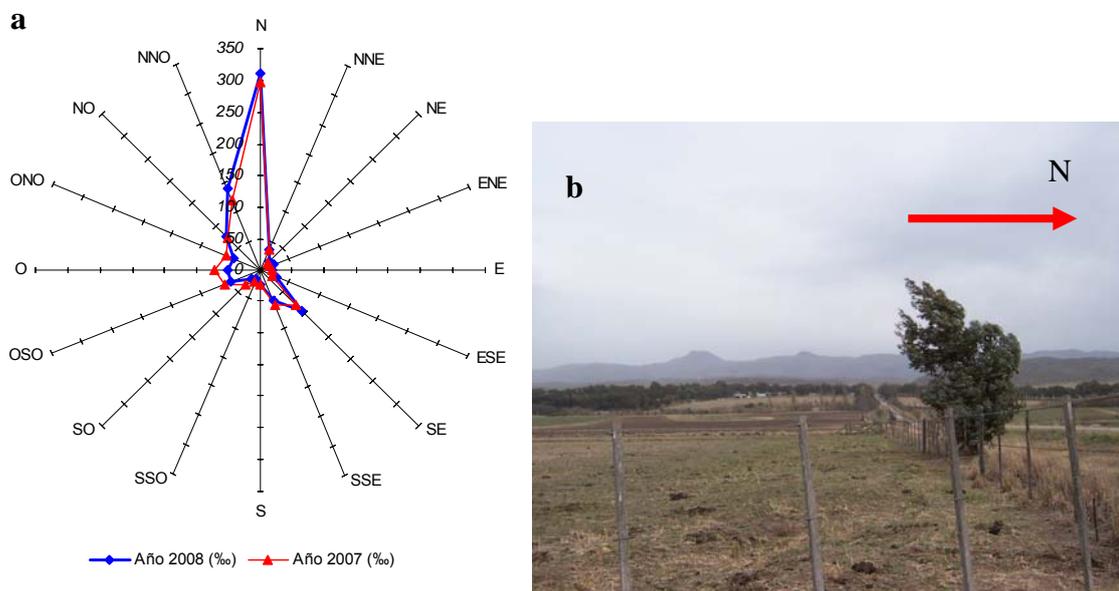


Figura 6.7. (a) Rosa de los vientos para la estación Nonthue para los años 2007 y 2008 frecuencia en ‰. (b) exposición de la vegetación a los vientos dominantes del Norte-Noroeste.

El análisis estacional permite estudiar las frecuencias del viento dominante en las distintas épocas del año generadas por el desplazamiento de las diferentes masas de aire (Campo de Ferreras *et al.*, 2004). En el caso de la estación Nonthue en el año 2007 se registraron variaciones significativas en las diferentes épocas del año (Fig. 6.8). Se mantiene una mayor frecuencia del Norte durante todas las estaciones con valores entre 280-310 ‰ aproximadamente. En verano y otoño a estas frecuencias del Norte le siguen las del Sureste y Este – Sureste con valores entre 50-100 ‰. En el invierno, las frecuencias del Oeste superan los 100 ‰ mientras que en la primavera es la frecuencia del Sureste la que supera este valor. Los días de calma, son escasos y debido a la escala de representación utilizada aparecen con un punto en el centro de la rosa.

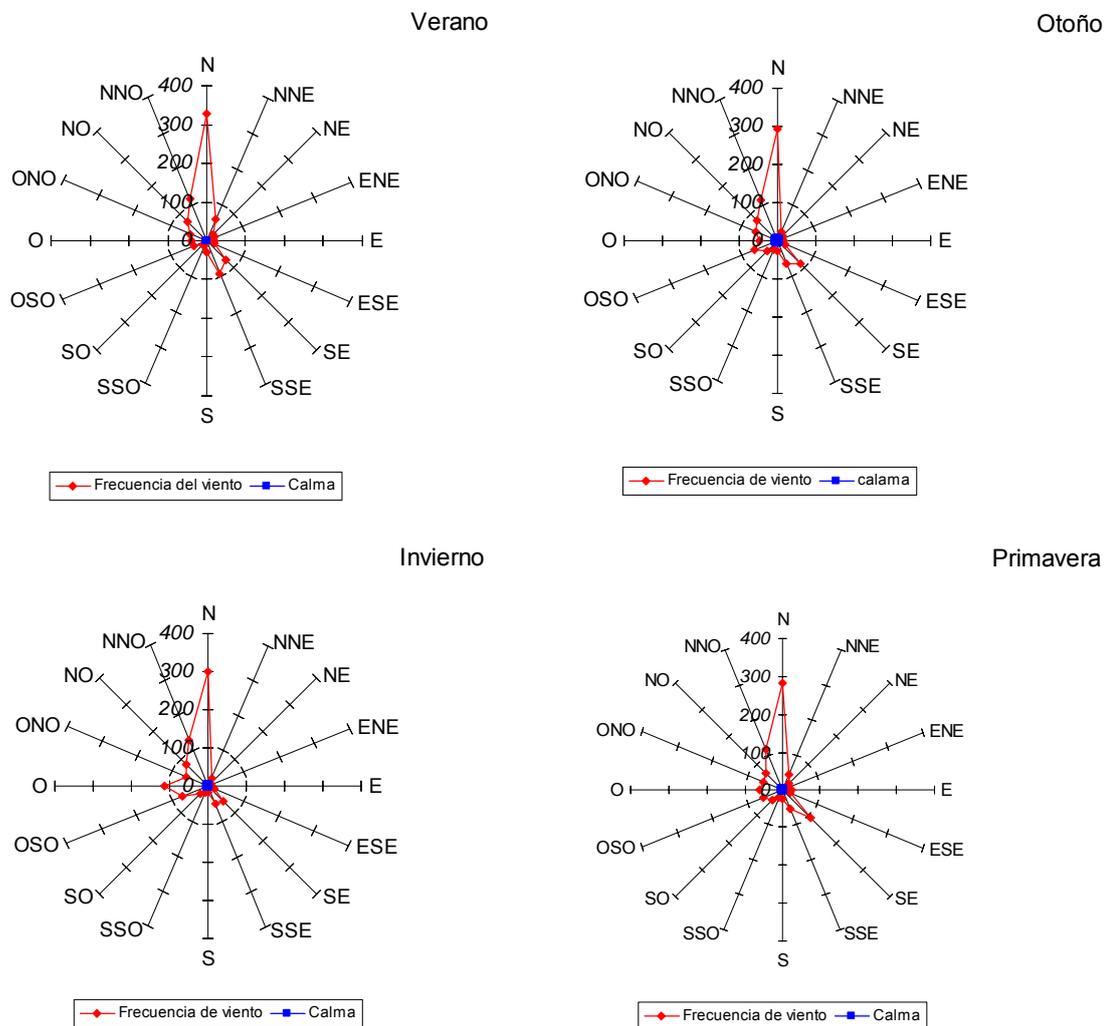


Figura 6.8. Rosa de los vientos estacionales para la estación Nonthue. Frecuencia en ‰ para el año 2007.

Para el año 2008, se mantiene el predominio de la frecuencia del viento Norte en las diferentes épocas del año. El verano y el otoño registraron vientos del Sureste y la diferencia entre estas estaciones se da en este año con el aumento en la frecuencia del viento Norte - Noroeste (250 ‰). El invierno se presenta con las mismas características del año anterior. Predomina el viento Norte y continúan las frecuencias de vientos del Oeste y Sureste. En el caso de primavera, debido a problemas técnicos, la estación registró sólo el mes de septiembre. Por esta razón, la variación de las frecuencias que se presenta no corresponde a un patrón estacional regular. Son importantes las frecuencias del Norte y Sureste, ambas con 200 ‰ siguiendo en importancia la Norte – Noroeste (Fig. 6.9).

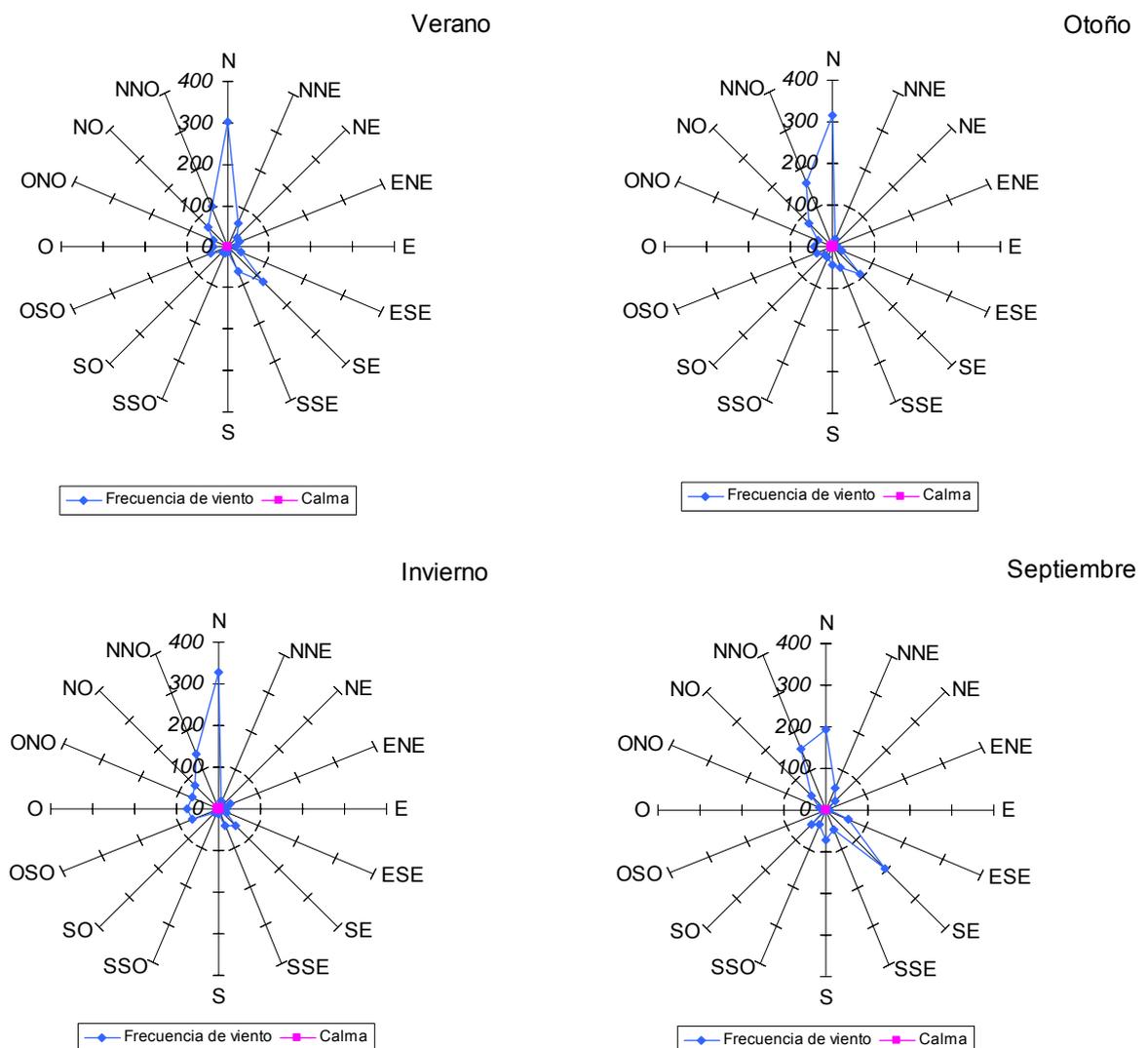


Figura 6.9. Rosa de los vientos estacionales para la estación Nonthue. Frecuencia en ‰ para el año 2008.

6.1.4. Análisis de la precipitación en la cuenca alta según datos históricos y actuales

En zonas donde existen contrastes orográficos, la variabilidad de las lluvias llegan a ser considerables entre áreas relativamente próximas, según su altitud, orientación de las vertientes y laderas, situación de los valles con respecto al desplazamiento de las masas nubosas, etc. (Castillo y Sentis, 2001).

Para el estudio de las precipitaciones se tomó en cuenta los diferentes registros históricos conjuntamente con registros actuales distribuidos en la cuenca alta del río Sauce Grande. De todos ellos el más representativo y cuya continuidad de registro permite un estudio detallado es la Estancia Nonthue, siendo ésta la estación de referencia para el sector de análisis.

Las estaciones pluviométricas estudiadas son:

- Estaciones del Ferrocarril Sur (Saldungaray, Peralta, Sierra de la Ventana, Cabildo)
- Parque Provincial Ernesto Tornquist
- Establecimiento Nonthue
- Estación Villa Ventana
- Estación Sierra de la Ventana

6.1.4.1. Variaciones temporales de la precipitación: La precipitación anual

La estación del Servicio Meteorológico Nacional, Sierra de la Ventana, ubicada a 260 m registró información en el período 1961-1980. La precipitación media anual fue de 896,5 mm. Para el mismo período los registros de lluvia del establecimiento Nonthue ubicado a 400 m presentaron un valor de 766,2 mm. Ambas se encuentran a unos 11 km aproximadamente y la diferencia pluviométrica anual es de 130 mm. Esta diferencia, podría indicar en una primera aproximación los marcados contrastes de lluvia existentes en este espacio.

Pero el análisis de los valores anuales es insuficiente para la caracterización pluviométrica de las estaciones. Por ello es necesario, contar con series pluviométricas que permitan una comparación año a año y realizar los cálculos estadísticos básicos. En

este caso, se analizan los registros de lluvia del establecimiento Nonthue que abarcan el periodo 1915 – 2005. Es de destacar que si bien dominan las lluvias se registran otras formas de precipitación, las nevadas, aunque no son las más abundantes y no se dan todos los años. Cuando ocurren lo hacen entre los meses de julio y agosto, principalmente en los niveles más altos de las sierras y sólo en ocasiones a nivel de superficie.

La variabilidad interanual de las lluvias es la característica principal del Suroeste de Buenos Aires y la cuenca alta del río Sauce Grande no escapa a esta generalización. En la figura 6.10 se observa la alternancia anual de años con valores sobre y por debajo de la media de los 91 años considerados (739,1 mm).

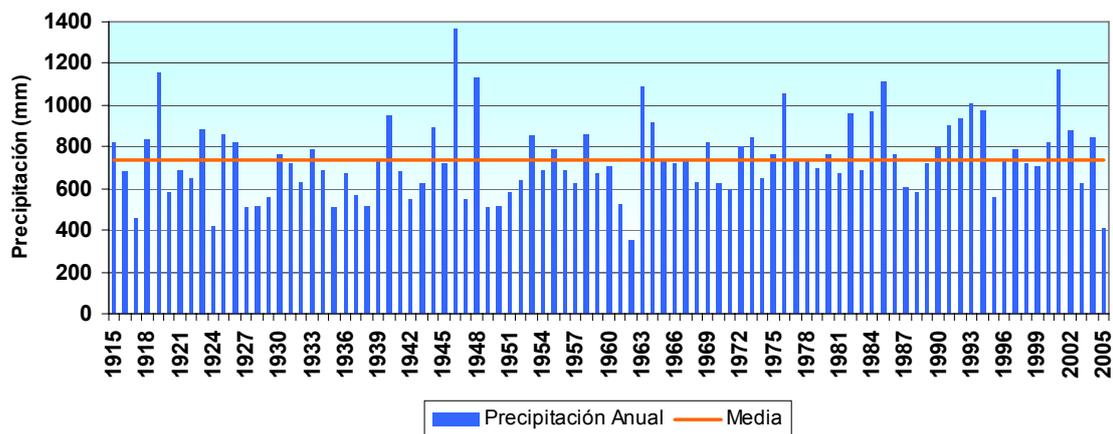


Figura 6.10. Lluvias anuales para el período 1915 -2005. Establecimiento Nonthue.

Siguiendo la propuesta de varios autores (Remenieras, 1974; Hufty, 1984; Romero Díaz, 1989) se procedió al cálculo y análisis estadístico básico de esta serie de precipitación que es la más larga y continua que se dispone.

Para realizar la distribución de frecuencias se agruparon las precipitaciones de los 91 años en intervalos de 100 mm. Se agruparon en 13 intervalos, el extremo inferior corresponde a valores anuales menores e iguales a 100 y el extremo superior a valores anuales mayores o iguales a 1.300. Posteriormente, se halló la frecuencia en porcentaje, lo cual equivale a la probabilidad de que una determinada precipitación pueda producirse. La precipitación se concentra entre los intervalos de 601- 700 y 701 - 800 (Fig. 6.11). Con

una frecuencia de 24 % y de 22 % respectivamente o lo que es lo mismo con probabilidad de 24 % y de 22 % de que en un año se registren lluvias entre estos valores.

La distribución anteriormente analizada, indica la posición de las precipitaciones dentro de umbrales establecidos. Pero la caracterización de esta distribución de frecuencias las dan las medidas de centralización y dispersión. En general la distribución de frecuencias para las precipitaciones no presenta una distribución simétrica o normal, sino que es asimétrica. Por ello los dos valores centrales más importantes son la media y la mediana si bien en estos casos no coincidirán. Por otra parte, las medidas de dispersión indican acerca de los límites entre los cuales se encuentran distribuidos los valores. Ejemplo de ello es la desviación típica referida al valor central. También son destacables los valores máximos, mínimos e índice de dispersión o rango, éstos no están referidos al valor central (Romero Díaz, 1989).

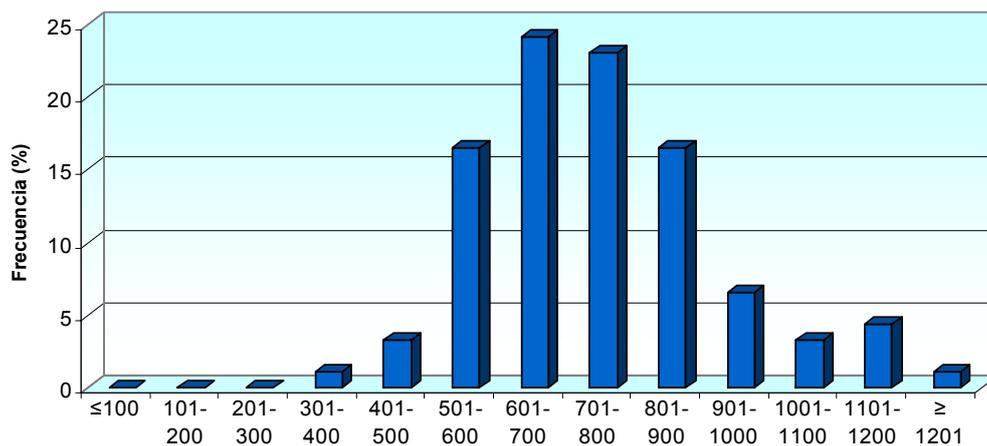


Figura 6.11. Frecuencia de las precipitaciones (%) para el establecimiento Nonthue en el período 1915 - 2005.

Respecto a las medidas de centralización la tabla 6.5 indica los valores calculados para esta serie de precipitación. La media es el valor central más utilizado en los parámetros climáticos. Mientras que la mediana representa el valor central de las precipitaciones ordenadas según su cantidad y es independiente de los valores extremos de precipitación, ventaja respecto de la media. Para calcular la fiabilidad de ambas medidas se utiliza los intervalos de confianza.

Media	Intervalo de confianza \pm mm	Mediana	Intervalo de confianza \pm mm
739,1	40,3	719	25,8

Tabla 6.5. Medias de centralización para el Establecimiento Nonthue.

Entonces, la media para esta estación es de 739,1 con una posible diferencia de 40,3 mm sea por defecto o por exceso. O sea que, existe el 95 % de probabilidades de que la media puede estar comprendida entre los 698,8 mm y los 778,4 mm. En cambio la mediana de 719 mm indica, con una probabilidad de 95 %, que los valores oscilarán entre los 693,2 mm y los 744,8 mm. El rango es más reducido debido a que el intervalo de confianza es menor que el de la media.

Respecto a las medidas de dispersión se ha calculado la amplitud, que consiste en la diferencia entre el valor máximo y mínimo de precipitación registrado y la desviación típica. Estos valores expresados en la tabla 6.6 permiten conocer la dispersión de los valores medios de precipitación y complementan el estudio detallado de la precipitación anual de una estación. En este caso es de destacar la amplitud entre los máximos y mínimos (1.009,5 mm).

Máximo	Mínimo	Amplitud	Desviación Típica
1.364,0	354,5	1.009,5	193,5

Tabla 6.6. Medias de dispersión para el Establecimiento Nonthue.

Todos los valores analizados confirman esta variabilidad interanual de la precipitación planteada al principio. Estos deben ser tenidos en cuenta a la hora de planificar y gestionar los recursos hídricos así como obras de infraestructura para su aprovechamiento.

6.1.4.2. Variaciones temporales de la precipitación: Las precipitaciones mensuales

La dinámica de circulación general atmosférica que controla los mecanismos de la circulación regional, distribuye irregularmente las precipitaciones a lo largo del año. Así

no sólo existe una diferencia estacional en los montos precipitados sino que aún más marcada es la diferencia de los valores mensuales (Romero Diaz, 1989). Las precipitaciones a lo largo del año para el establecimiento Nonthue presentan un régimen regular, cuyos mayores registros se producen entre octubre y abril, con un máximo de 99,9 mm en marzo y otro de 78,1 mm en octubre (Fig. 6.12) y coincidiendo con las estaciones de otoño y primavera. Los meses de invierno son los más secos, con el mínimo en agosto (32,2 mm). La distribución mensual es muy similar a la estación Sierra de la Ventana (Fig. 6.1. Diagrama ombrotérmico) aunque el período considerado por esta estación sea menor.

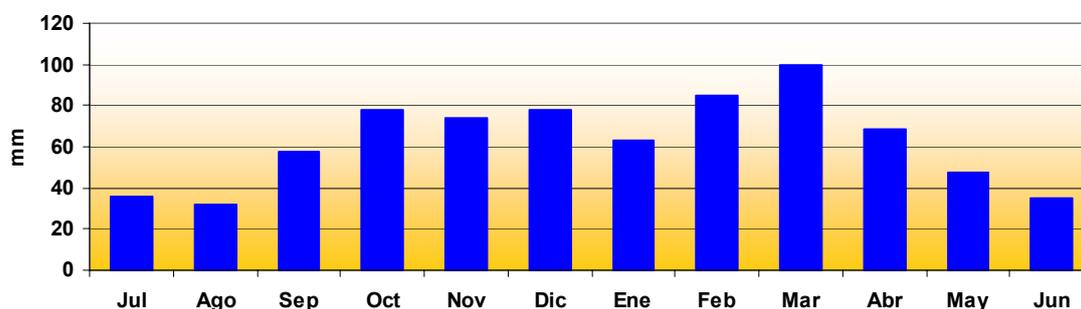


Figura 6.12. Lluvias medias mensuales para el período 1915-2005. Establecimiento Nonthue.

Para poder remarcar la irregularidad de las precipitaciones mensuales a lo largo del año, se consideran junto con las medias mensuales los valores máximos y mínimos para cada uno de los meses en el período 1915 - 2005 (Tabla 6.7). Las precipitaciones máximas, al igual que las medias, presentan dos máximos destacados, octubre y marzo. Sin embargo, si se compara la medias mensuales y el máximo valor se puede observar que presentan también dos máximos importantes, los picos mayores se invierten, pasando a ser el máximo en octubre y el segundo en marzo.

1915-2005	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Máximo Valor	211,2	259	294	286	213,5	145,5	158	128	259	364,5	240	276,7
Mínimo Valor	3	0	5,5	1	0	0	0	1	3	2,5	5,5	6

Tabla 6.7. Máximos y mínimos de precipitación mensual. Período 1915-2005. Establecimiento Nonthue.

Si se comparan las distribuciones mensuales de precipitación en forma decádica se puede observar la variación de los máximos y mínimos valores medios. Sin embargo, estos valores se mantienen estacionalmente. Se presentan las décadas 1961-1970,

1971-1980, 1981-1990 y 1991-2000 cuyos valores mensuales son los más variables (Fig. 6.13).

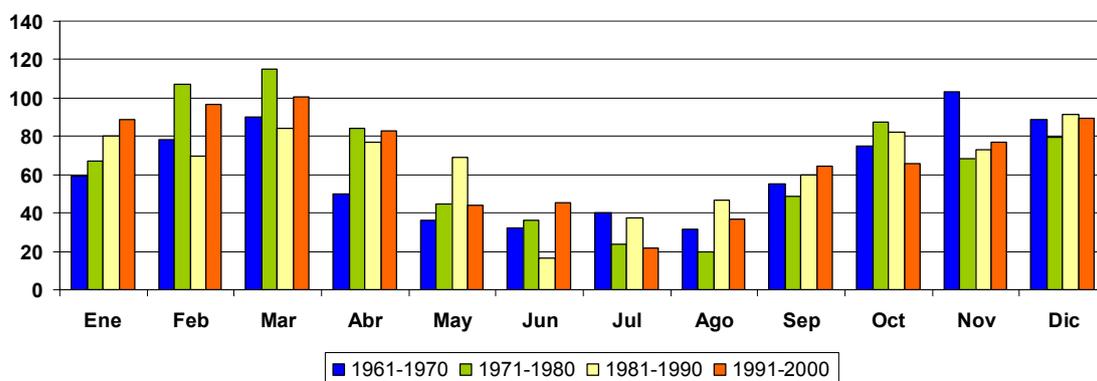


Figura 6.13. Distribución de los valores medios de precipitación mensual (mm) según las décadas. Establecimiento Nonthue.

Por otra parte, para poder cuantificar la irregularidad de las precipitaciones mensuales se calcularon además de la media, la amplitud, la clase modal y la desviación típica (Tabla 6.8).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Amplitud	211,3	259	294	286	213,5	145,5	158	128	259	364,5	240	276,8
Desviación Típica	45,8	62,2	60,0	60,2	38,7	32,7	37,5	27,7	45,9	54,0	46,9	48,6
Clase modal	≤50	51-100	51-100	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50	≤50	51-100	51-100	≤50

Tabla 6.8. Valores estadísticos mensuales de las precipitaciones para cada mes (1915-2005). Establecimiento Nonthue.

Según Romero Díaz (1989) las amplitudes de precipitación están en relación directa con la cantidad de lluvia caída y como no es extraño valores nulos en algunos meses, las amplitudes corresponden al valor máximo de precipitación. La mayor amplitud se da en octubre (364,5), mientras que le siguen marzo (294) y diciembre (276,8). De todas maneras, todos los meses tienen una amplitud elevada, rasgo característico del clima bajo el cual se encuentra el área de estudio.

La desviación típica, por su parte, permite establecer cuánto se desvían las precipitaciones mensuales de la media. En este caso, la mayor desviación la presenta el

mes de febrero (62,2), siguiéndole el mes de marzo (60,2) y abril (60). Por otra parte, la clase modal permite conocer entre qué intervalos se encuentran las precipitaciones más frecuentes. Este dato es importante debido a que con frecuencia los valores medios están influenciados por las precipitaciones máximas, creando de esta manera una imagen irreal de las precipitaciones más abundantes (Romero Díaz, 1989). En el caso analizado, febrero, marzo, octubre y noviembre presentan la clase modal entre 50 y 100 mm mientras que el resto la mayor frecuencia de precipitaciones corresponde a la clase ≤ 50 . En la tabla 6.9 se pueden observar las frecuencias para cada clase según los meses del año. Se pone de manifiesto la variabilidad de los meses de febrero, marzo, abril, septiembre y octubre. Mientras que los meses de junio, julio y agosto las mayores frecuencias se dan en las clases de menores precipitaciones.

Clases	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
≤ 50	42	30	19	44	58	68	71	69	50	31	30	35
51-100	33	32	33	24	22	18	11	18	28	35	42	29
101-150	10	11	21	14	9	4	5	2	11	19	10	18
151-200	5	11	9	5	0	0	3	0	0	5	8	8
201-250	1	5	8	1	1	0	0	0	1	0	1	0
≥ 251	0	1	1	2	0	0	0	0	1	1	0	1

Tabla 6.9. Frecuencia de precipitaciones mensuales según cada intervalo de clase. Período 1915-2005. Establecimiento Nonthue.

6.1.4.3. Índice de precipitación estandarizada (IPE): Períodos secos y húmedos

La variabilidad temporal de las precipitaciones también se refleja en los frecuentes eventos secos o sequías y eventos húmedos cuyas consecuencias se manifiestan en sus costos económicos, sociales y de alguna manera en un cambio del medio ambiente (Coronel y Sacchi, 2006). Asimismo, es destacable la variación dentro del año y según las estaciones de los montos precipitados. Estas tendencias en diferentes escalas de tiempo también condicionan directamente la disponibilidad hídrica del ambiente y por consiguiente ejercen influencia en los distintos procesos fluviales y geomorfológicos de una cuenca.

En términos generales el desarrollo de índices para detectar estos eventos se centran más en torno a las sequías, entre ellos el Índice de Palmer (Palmer, 1965), distribución de deciles (Gibbs y Maher, 1967), Índice de Precipitación Estandarizado (McKee *et al.*, 1993), entre otros. Para clasificar los diferentes años de la serie

pluviométrica estudiada en secos y húmedos se realizó el Índice de Precipitación Estandarizada (IPE) propuesto por McKee *et al.* (1993). El mismo consiste en el ajuste de la serie de precipitación a una distribución teórica apropiada (generalmente la Gamma) y su posterior transformación en una distribución normal estandarizada. Su virtud más relevante es que puede ser calculado, en forma simple, para una gran variedad de escalas temporales haciéndolo apto para el estudio de sequía cortas (importantes para la agricultura) o muy prolongadas (relevantes para evaluar la disponibilidad de agua subterránea, la escorrentía y los niveles de lagos o reservorios de agua). Según Donnari y Scian (1993) El IPE escala 1 mes (IPE1) es el desvío de la lluvia mensual estandarizada. Por lo cual refleja las condiciones en tiempo inmediato de la precipitación. Su mayor aplicación se relaciona con la humedad del suelo y el stress vegetativo. El IPE escala 3 meses (IPE3) compara la precipitación acumulada en tres meses con el total de precipitación de esos tres mismos meses para todo el record de datos históricos. A esta escala refleja las condiciones de humedad a mediano y corto plazo y provee una estimación estacional de las lluvias. IPE escala 6 meses (IPE6) compara la precipitación para ese período de tiempo con los registros históricos para esos mismos meses y revela las tendencias en las precipitaciones. A esta escala se lo considera más sensible que el índice de Palmer (ISP) y puede ser muy efectivo para mostrar las precipitaciones en las diferentes estaciones del año. Mientras que el IPE escala 12 meses (IPE12) corresponde a la comparación de 12 meses consecutivos acumulados de precipitación respecto a la media para ese mismo lapso. Se consideran todos los períodos anteriores de datos disponibles. Se entiende que cuanto mayor sea la escala de tiempo, más pequeñas serán las anomalías.

Por lo tanto, una vez obtenidos los resultados se los clasifica según su valor. Un período seco comienza cuando el IPE se hace negativo por primera vez y finaliza cuando se torna positivo. En el caso que el IPE sea continuamente negativo y alcance el valor -1 ó menor, se considera que la deficiencia de agua es suficientemente importante como para definir una "sequía meteorológica". La misma puede alcanzar distinta severidad en las diferentes escalas temporales utilizadas, las cuales varían entre 1 y 24 meses (Skansi *et al.*, 2006). En la tabla 6.10 se observan las diferentes categorías de IPE.

Ya que evento seco (sequía) y evento húmedo (asociado a episodios de inundación) son conceptos muy amplios, se tomó el siguiente criterio para definir a estas variables. En él se encuentra implícito que el exceso o deficiencia de agua ha sido

suficiente como para ocasionar un daño económico (Coronel y Sacchi, 2006). Evento seco o húmedo: período en el cual los IPE6 e IPE12 son valores continuamente negativos (positivos) mayores que 1 y menores que -1 y por lo menos un IPE alcanza un valor de -2 o menos (2 o más).

IPE	Categoría
-2.00 o menor	Extremadamente Seco (sequía extrema)
-1.50 a -1.99	Muy Seco (sequía severa)
-1.00 a -1.49	Moderadamente Seco (sequía moderada)
-0.5 a -0.99	Ligeramente Seco
0.49 a -0.49	Normal
0.50 a 0.99	Ligeramente Húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente Húmedo (exceso moderado)
1.50 a 1.99	Muy Húmedo (exceso severo)
2.00 o mayor	Extremadamente Húmedo (exceso extremo)

Tabla 6.10. Categorías de las anomalías de precipitación de acuerdo con los valores de IPE (McKee *et al.*, 1993) Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, Argentina (www.smn.gov.ar)

Para el establecimiento Nonthue se realizó el IPE12 e IPE6 y se determinaron las frecuencias relativas de cada categoría de intensidad del índice. Se destacan varios eventos extremos tanto secos como húmedos.

IPE12

De la figura 6.14 se desprende que los eventos extremadamente secos dominan sobre los extremadamente húmedos. En relación a los primeros el más extenso se dio en el período comprendido entre marzo de 1961 a marzo de 1963 y el de mayor intensidad fue entre febrero y julio de 1989 con un mínimo de -2,76. Los eventos extremadamente húmedos en este caso son los que menos predominan. El más extendido fue el tercero de ellos y comprendió el período que va de octubre de 1963 a febrero de 1965 alcanzando un máximo de +2,28. El más intenso se dio entre abril de 1946 y abril de 1947 y el máximo valor llegó a 2,94. Por otra parte, si bien el aspecto de la curva indica la existencia de una marcada variabilidad, el cálculo de la frecuencia relativa de los valores

del IPE permite afirmar que la predominancia es de los valores normales (0,49 a -0,49) (Fig. 6.15).

IPE6

El IPE se realizó a escala de 6 meses ya que es la mejor para representar las variaciones estacionales dentro del año. Se observa en la figura 6.16 los eventos extremadamente secos y húmedos. Igual que en el IPE12 los eventos secos son superiores a los húmedos. El cambio de escala hace variar mucho más los valores lo cual se observa en la graficación. Tanto los eventos secos como los húmedos presentan menor duración pero no menor categoría. El evento seco más extremo se presentó entre mayo y septiembre del 2003 alcanzando valores IPE de 3,3. Mientras que de los eventos húmedos el que mayor categoría presenta es el primero, con valores de IPE de 2,51.

Así como sucedió en el análisis del IPE12, el aspecto de la curva indica la existencia de una marcada variabilidad y el cálculo de la frecuencia relativa de los valores del IPE permite confirmar la predominancia de los valores normales (0,49 a -0,49) (Fig. 6.17).

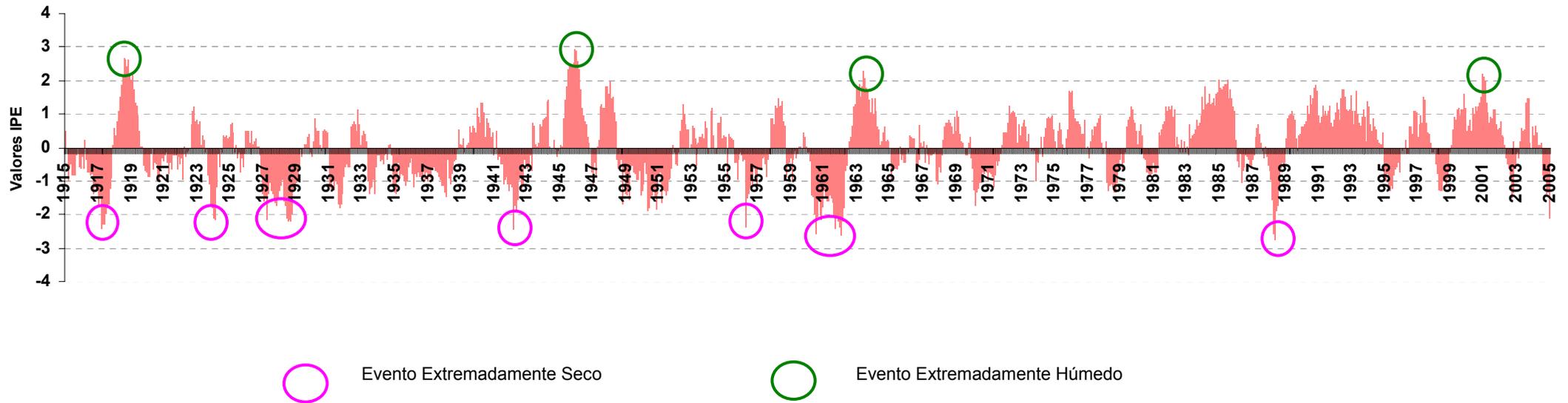


Figura 6.14. Índice de Precipitación Estandarizada a escala de 12 meses para la estación Nonthue (1915-2005).

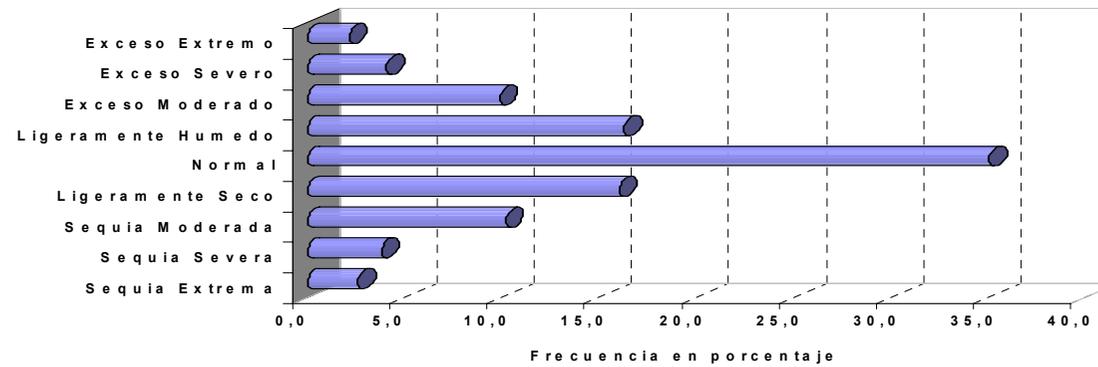


Figura 6.15. Frecuencia relativa de eventos para IPE12.

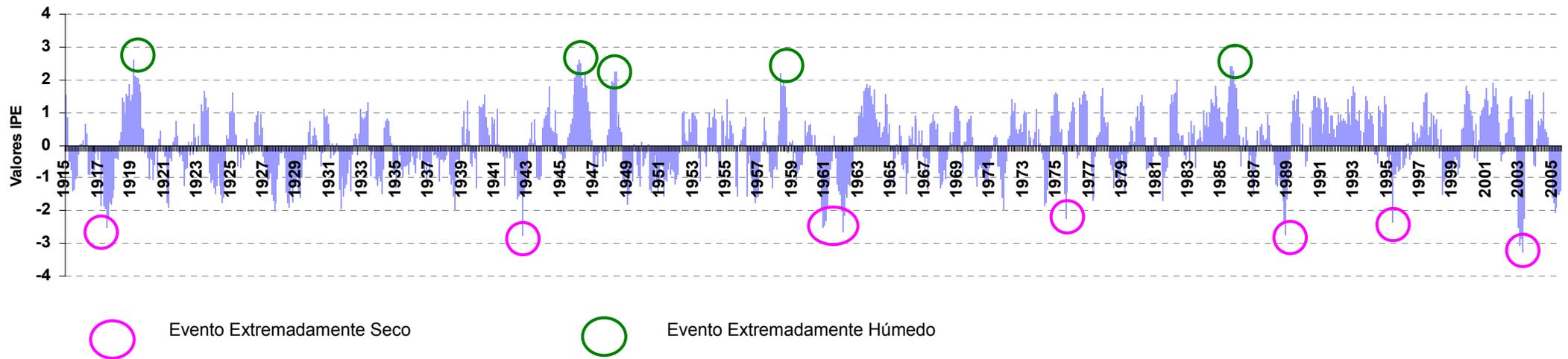


Figura 6.16 Índice de Precipitación Estandarizada a escala de 6 meses para la estación Nonthue (1915-2005).

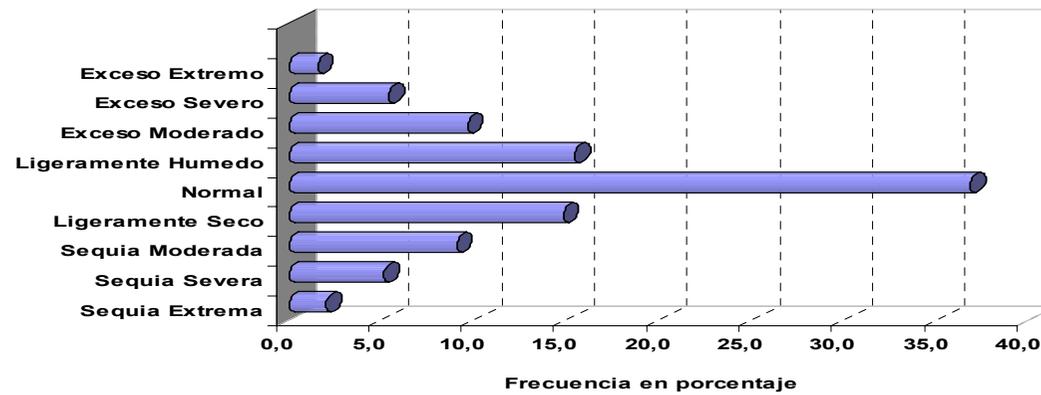


Figura 6.17. Frecuencia relativa de eventos para IPE6.

6.1.4.4. Variabilidad espacial de las precipitaciones y la influencia del cordón serrano

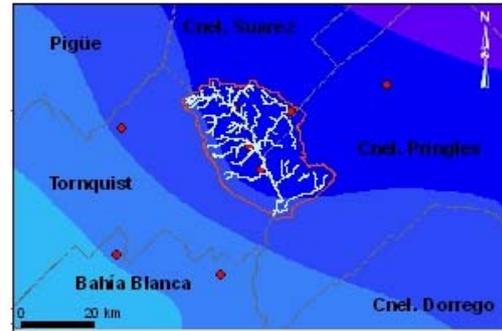
Es un hecho conocido que las precipitaciones varíen espacialmente, incluso en pequeñas áreas. En ocasiones, la cantidad e intensidad de los eventos de lluvia tiene un reparto desigual, repercutiendo en la respuesta espacial de la escorrentía superficial y en los procesos que de la misma dependen (Barbancho, 1998). La cuenca alta del río Sauce Grande no escapa a esta regla y si bien la densidad de pluviómetros no es la óptima, los datos existentes permiten demostrar esta variabilidad espacial. Esta estimación resulta útil para precisar la respuesta hidrológica de la cuenca ante las precipitaciones.

Se realizaron los mapas de distribución de las precipitaciones anuales con los registros del Ferrocarril Sur para el período 1938 – 1942 (Fig. 6.18). La elección del mismo está en relación con los datos de caudales que serán tratados más adelante. En los años 1940 y 1942 los valores de precipitación son mayores en el sector Norte de la cuenca. En el año 1939, existe una diferencia menor en el Oeste de la cuenca coincidiendo con el cordón serrano y en los años 1938 y 1941 las precipitaciones anuales caen en el mismo rango de precipitación (700 – 800 mm).

Por otra parte se realizaron los mapas de distribución de precipitaciones mensuales. Los meses también fueron elegidos sobre la base de coincidencia con los registros de caudales mensuales y sobre el criterio de diferencia en los montos precipitados en las estaciones Peralta, Sierra de la Ventana y Saldungaray (Fig. 6.19). En ellos se observa una mayor variabilidad espacial ya que la escala temporal es menor. Datos más actuales permite la comprobación de la incidencia del cordón serrano en la cantidad de precipitaciones. En la figura 6.20 se observa la distribución de los pluviométricos del Parque Provincial Ernesto Tornquist (PPET), Villa Ventana y Nonthue. Los tres puntos de registro poseen datos comparables para el período 1997-2007. El gráfico de precipitaciones anuales en la figura 6.20 permite observar la variación de la precipitación para cada año, así como la variación de la cantidad de la misma cuanto más próximos se encuentra el cordón de Sierra de la Ventana. Por ejemplo, en el año 2001 las precipitaciones entre el PPET y Villa Ventana no difieren en más de 200 mm mientras que si se comparan con las precipitaciones registradas en Nonthue las mismas difieren entre 200 y 400 mm en una distancia de 10 km aproximadamente. La diferencia es casi la misma en el año 2002 y 2004.



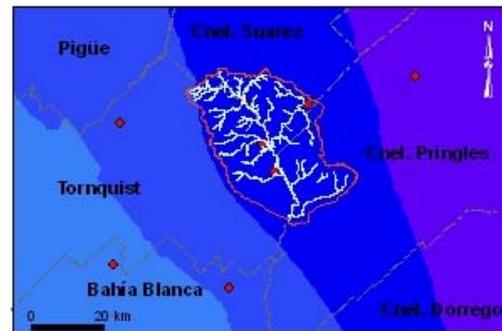
Distribución de la precipitación anual. Año 1938



Distribución de la precipitación anual. Año 1939



Distribución de la precipitación anual. Año 1940



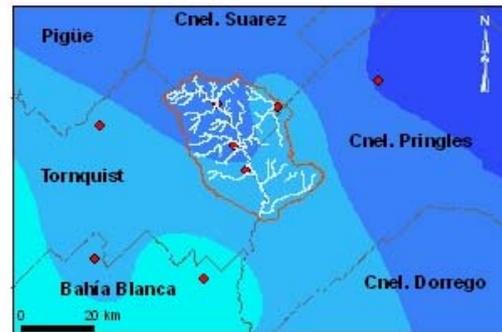
Distribución de la precipitación anual. Año 1941

Referencias

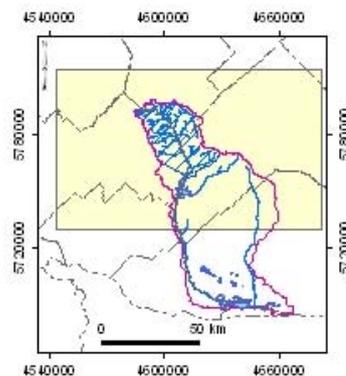
-  Cursos de agua
-  Estaciones pluviométricas del FFCC Sur
-  Cuenca alta del río Sauce Grande
-  Límite de partido

Rangos de precipitación (mm)

-  300 - 400
-  400 - 500
-  500 - 600
-  600 - 700
-  700 - 800
-  800 - 900
-  900 - 1.000
-  1.000 - 1.100

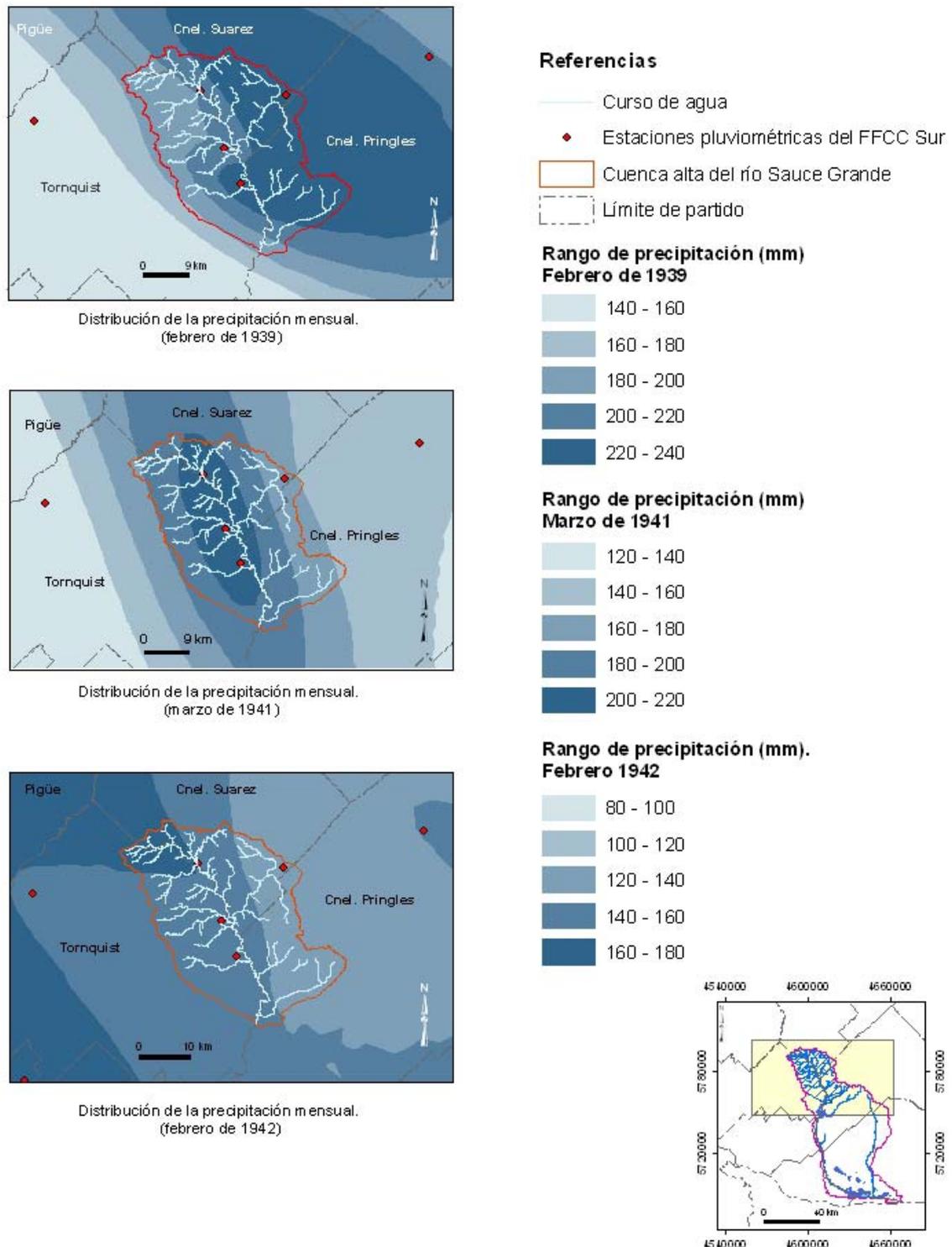


Distribución de la precipitación anual. Año 1942



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de registros pluviométricos del Ferrocarril Sur. Se utilizó la extensión Geostatistical Analyst de ArcGIS 9.1. Año 2009.

Figura 6.18. Mapas de distribución de la precipitación anual en la cuenca alta del río Sauce Grande



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de registros pluviométricos del Ferrocarril Sur. Se utilizó la extensión Geostatistical Analyst de ArcGIS 9.1. Año 2009.

Figura 6.19. Mapas de distribución de la precipitación mensual en la cuenca alta del río Sauce Grande.

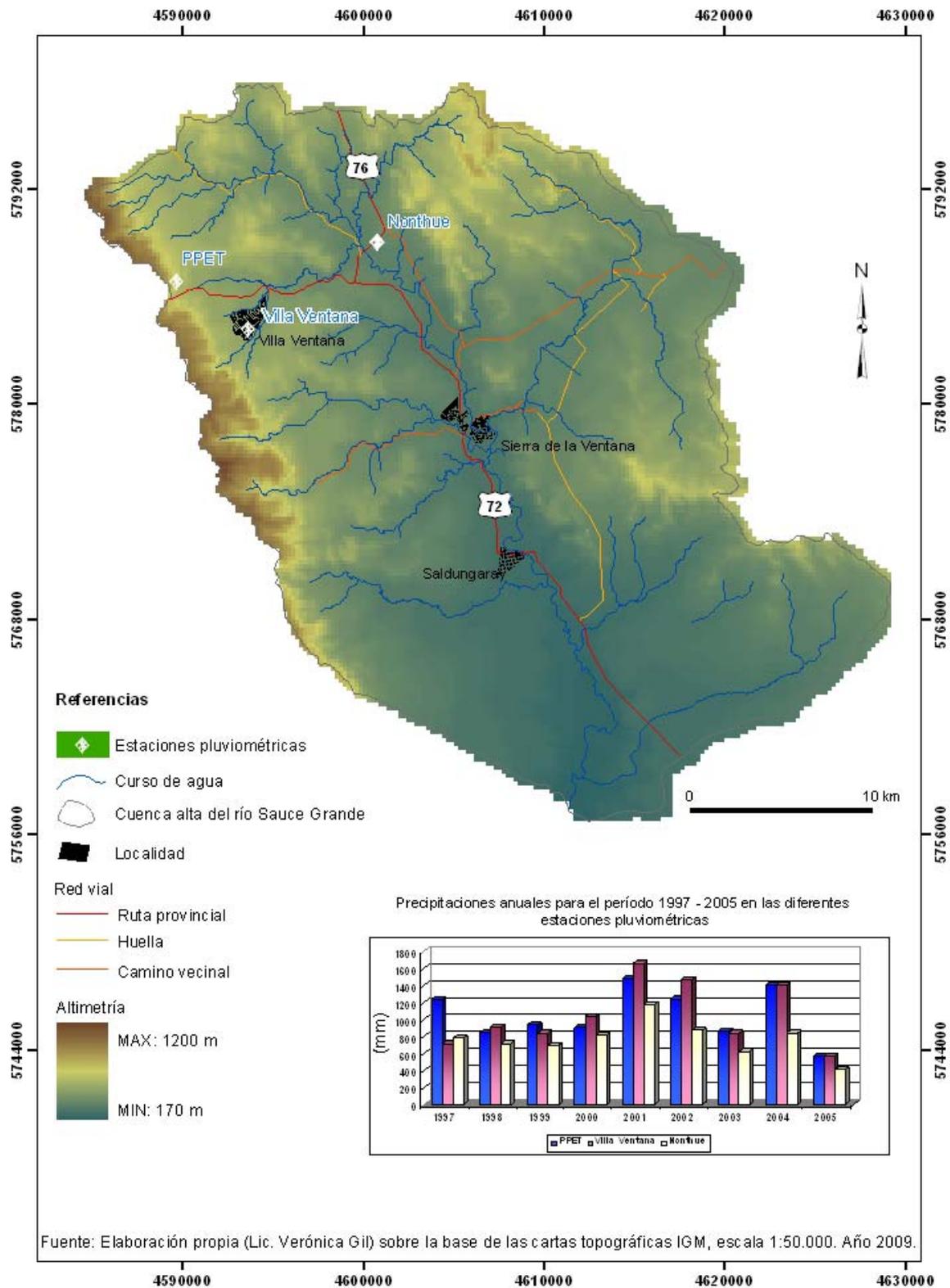


Figura 6.20. Localización de las estaciones pluviométricas y comparación de los registros de lluvia para el período 1997-2005.

Esta variación de los registros en la cuenca alta del Sauce Grande incide sobre la disponibilidad de agua para la escorrentía en las diferentes subcuencas. Estos datos serán retomados junto con registros mensuales no tratados aquí para comparar con los registros de caudales de diferentes sectores de la cuenca.

6.1.4.4.1 Variabilidad de la precipitación con la altura

Linsley *et al.* (1977) explica que debido a que el ascenso de las masas de aire es el factor más importante para casi todos los tipos de precipitación, las cantidades y las frecuencias son por lo general mayores sobre barlovento de las barreras orográficas. En cambio, del lado de sotavento el movimiento es descendente, por lo cual se produce una disminución de la humedad relativa y una consecuente disminución en la cantidad de precipitación. Por ello, las características orográficas de la cuenca determinan una serie de variaciones locales. Esta influencia serrana en la precipitación constituye un factor de relevancia que condiciona el comportamiento de los arroyos del área de estudio.

Los registros, aunque escasos y no extendidos a lo largo de toda la cuenca alta, permiten suponer una variabilidad de las lluvias con la altura ante los distintos eventos de precipitación y más aún cuando se producen episodios de precipitación extrema. Estas diferencias se ponen de manifiesto al analizar los registros tomados a diferentes alturas y de forma transversal al cordón serrano en el año 1991 y mitad de 1992. La figura 6.21 y 6.22 indica la posición y la altitud de cada pluviómetro dentro de los límites del área de estudio.

Asimismo, a partir de los datos de la tabla 6.11 se pudo analizar la tendencia de la variable, es decir, determinar si los registros pueden ser ajustados a alguna función (de primer, segundo o tercer orden) sobre dos planos proyectados. La dirección de estos planos son en este caso, Noroeste-Sureste y Suroeste-Noreste. Para ello se utilizó la extensión Geostatistical Analyst del programa ArcGis 9.1 y los resultados se muestran en la figura 6.23. De ellos se desprende claramente que el mejor ajuste se da en sentido Suroeste-Noreste. Los meses representados ajustan a un orden de polinomio 3. La curva indica que las precipitaciones son mayores a medida que aumenta la altura en dirección Suroeste. Asimismo, a una misma altura se produce una variabilidad según la exposición de la ladera, de allí la forma de la curva. La cantidad de lluvia si se comparan laderas opuestas dependerá del tipo de precipitación, siendo la más frecuente en el año la de frente, siguiendo en orden las de onda frontal.

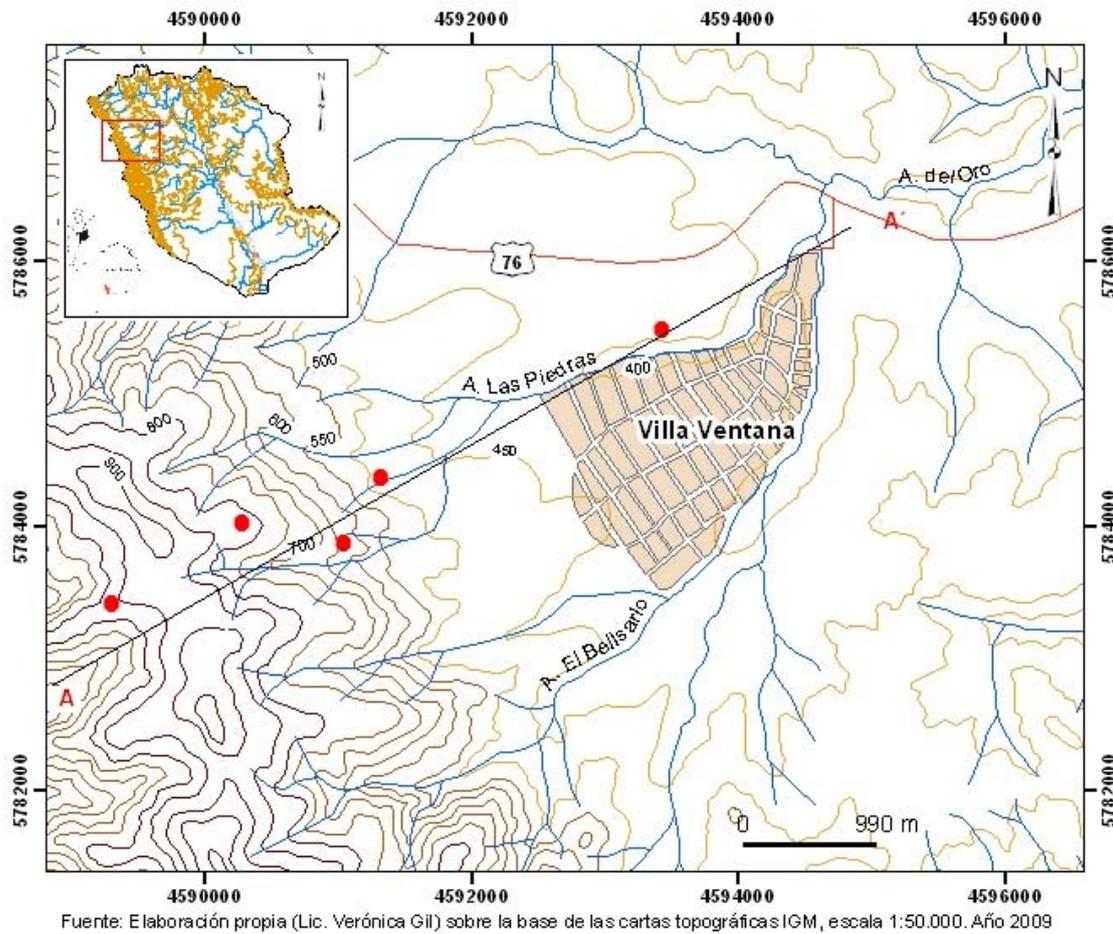


Figura 6.21. Posición de los pluviómetros acumulativos analizados.

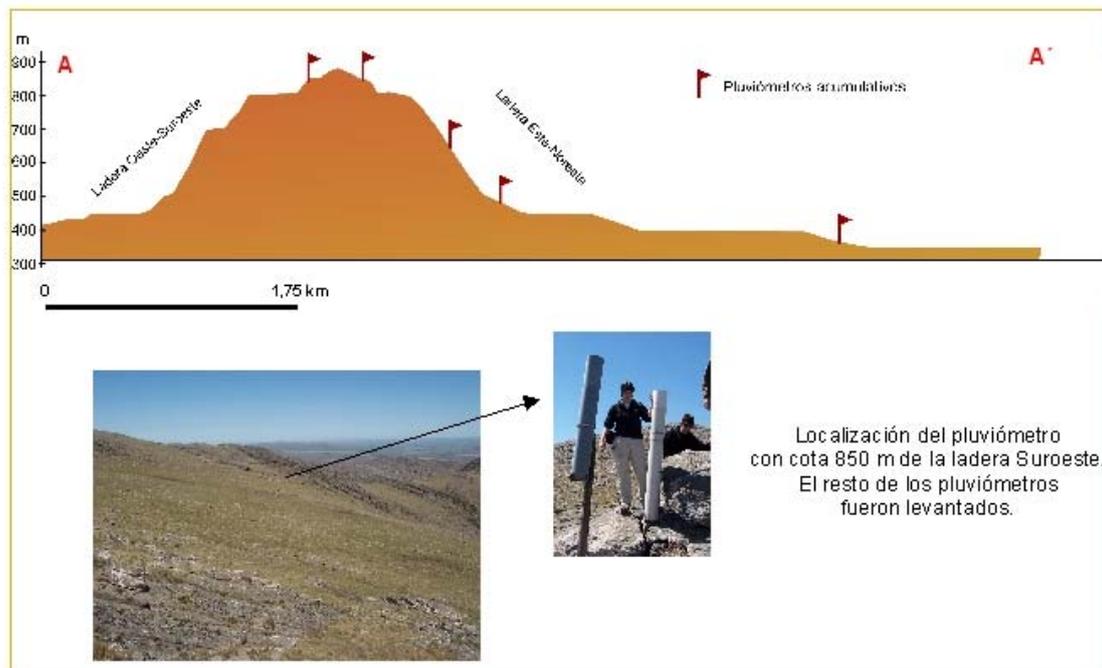
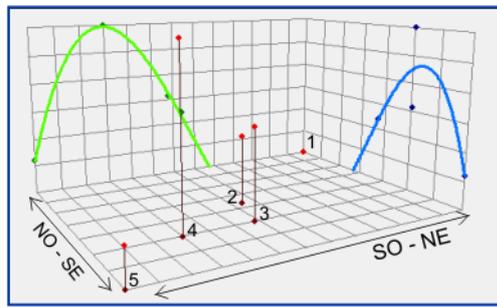
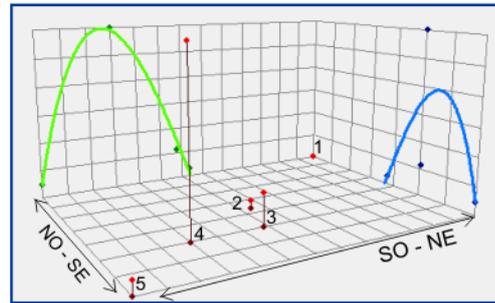


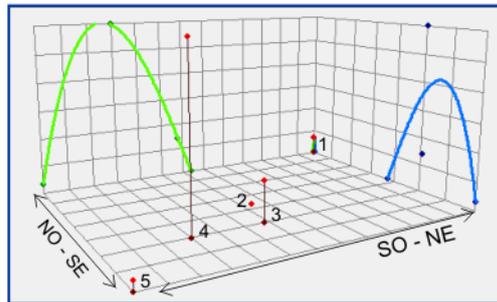
Figura 6.22. Perfil transversal al cordón serrano. Se indica la posición altitudinal de cada pluviómetro analizado.



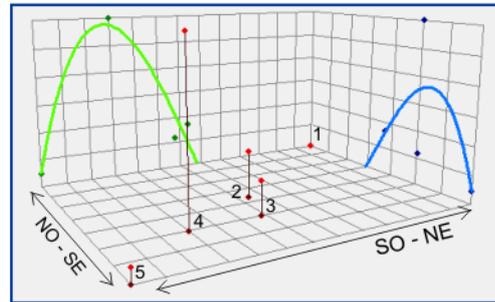
Enero de 1992



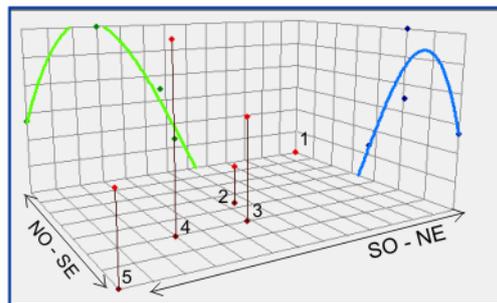
Mayo de 1992



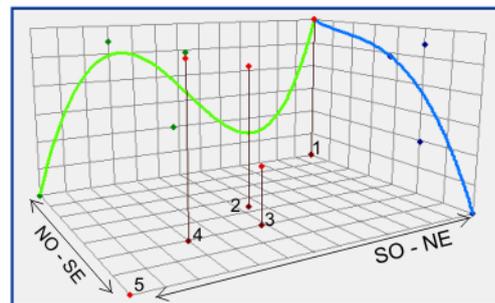
Abril de 1992



Junio de 1991



Diciembre de 1991

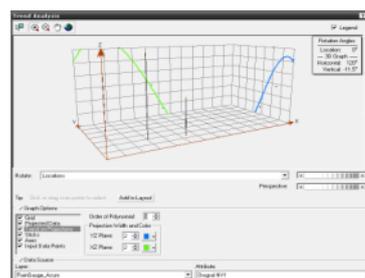


Mayo de 1991

Referencias

- Posición de los puntos (x,y)
- Proyección de las precipitaciones en sentido NO - SE
- Proyección de las precipitaciones en sentido SO - NE
- Líneas de tendencia (función polinómica)

1 al 5 Estaciones pluviométricas Tabla 6.11



Visualización de la pantalla de la extensión Trend Analyst ArcGIS 9.1

Figura 6.23. Tendencia de las precipitaciones mensuales según la altura. Los vectores verticales negros indican la altura de la precipitación

		Ladera				
		Este-Noreste			Oeste-Sureste	
		365 1	475 2	650 3	850 4	850 5
1991	Mayo	105	91	55	98	31
	Junio	60	95	85	188	70
	Julio	0	0	0	0	0
	Agosto	60	60	46	110	79
	Septiembre	135	130	120	145	110
	Octubre	105	100	66	70	0
	Noviembre	97	100	110	125	121
	Diciembre	95	105	121	140	115
1992	Enero	100	120	126	150	110
	Febrero	80	105	110	175	181
	Marzo	180	205	210	307	240
	Abril	85	75	96	165	80
	Mayo	100	105	120	205	108

Tabla 6.11. Variación de la precipitación con la altura en mm.

6.2. Los caudales: respuesta dinámica de la cuenca a las condiciones climáticas

Según Bruniard (1992) la descripción del temperamento hidrológico de un río comienza del conocimiento de los caudales y de sus variaciones. Asimismo, los caudales medios mensuales, si bien resultan de una regularización estadística que condensa el conjunto de datos, brindan una imagen de la marcha anual de los mismos o su régimen. Por otra parte, el caudal de un río es particularmente valioso ya que se relaciona con la carga sólida y es determinante en la geomorfología del cauce (King, 1984). Varía con el tiempo y en el espacio (según las zonas de la cuenca o en diferentes corrientes) y es función de tres factores básicamente, el clima (precipitación y evaporación), vegetación (intercepción y transpiración) y complejo suelo-sustrato (capacidad de infiltración y almacenamiento) (Pedraza Gilsanz, 1996). Asimismo, el caudal, registrado en una estación de aforo en un punto del río, es la suma de los flujos superficiales, sub-superficiales y subterráneos en función del tiempo (Marchetti, 2000).

Para el análisis de los caudales se tomó en cuenta los diferentes registros históricos conjuntamente con registros actuales distribuidos en la cuenca alta del río Sauce Grande. De todos ellos el más representativo y cuya continuidad de registro permite un estudio un poco más detallado es la estación de aforo del río Sauce Grande en la llamada Ex – Toma (1910-1947). En 1977 se instaló un nuevo aforo a 16 km aguas abajo aproximadamente, se obtuvieron del mismo los datos correspondientes al período

2004-2007. Ello permite la comparación con datos de las subcuencas aforadas entre 1938 y 1946 y las subcuencas aforadas entre 2004-2007.

Entonces, las estaciones de aforo estudiadas son (Fig. 6. 24):

- Estación de aforo del río Sauce Grande.
- Estación de aforo San Bernardo
- Estación de aforo El Negro
- Estación de aforo San Teófilo

6.2.1. Análisis histórico de los caudales de la cuenca alta del río Sauce Grande

A partir los datos proporcionados por la Autoridad de Agua de la provincia de Buenos Aires del río Sauce Grande se realizó un análisis histórico del comportamiento de los caudales en la cuenca alta. El período comprende desde 1910 a 1943, el área de la cuenca de alimentación es de 881,1 km² y el caudal medio es de 3,4 m³/s. El año hidrológico comienza en enero y presenta dos picos máximos: abril y octubre, coincidiendo con las estaciones intermedias (otoño-primavera). En julio se observa un aumento de los caudales medios, esto se debe al aporte de las aguas subterráneas a la cuenca (Fig. 6. 25).

El análisis de la curva de variación del caudal medio anual durante una serie de años, permitió observar la distribución de los caudales y sus variaciones interanuales (Fig. 6.26). Por otra parte, con el cambio de escala en la graficación, se visualiza la irregularidad en la distribución anual de los medios mensuales (Fig.6.27). Se determinó que en los períodos donde el caudal anual duplica o triplica el módulo de la cuenca, 4 meses o más durante el mismo superan los 5 m³/s y uno o dos meses superan los 20 m³/s. Con estos caudales medios mensuales el río evacua la mayor parte el agua ocupando los canales de crecidas (*bankfull discharge*) mientras que los meses donde el caudal medio mensual llega a superar los 25 m³/s se registran crecidas cuyas aguas ocupan la llanura de inundación (e.g. 1915, 1919, 1923, 1933, 1944).

Si bien los valores promedios permiten caracterizar los regímenes fluviales, como en este caso, enmascaran la variabilidad no sólo mensual sino diaria de los valores absolutos de caudal. Este hecho es de importancia para el análisis de los eventos de crecida de los ríos. En el caso del área de estudio, la escasa disponibilidad de estos

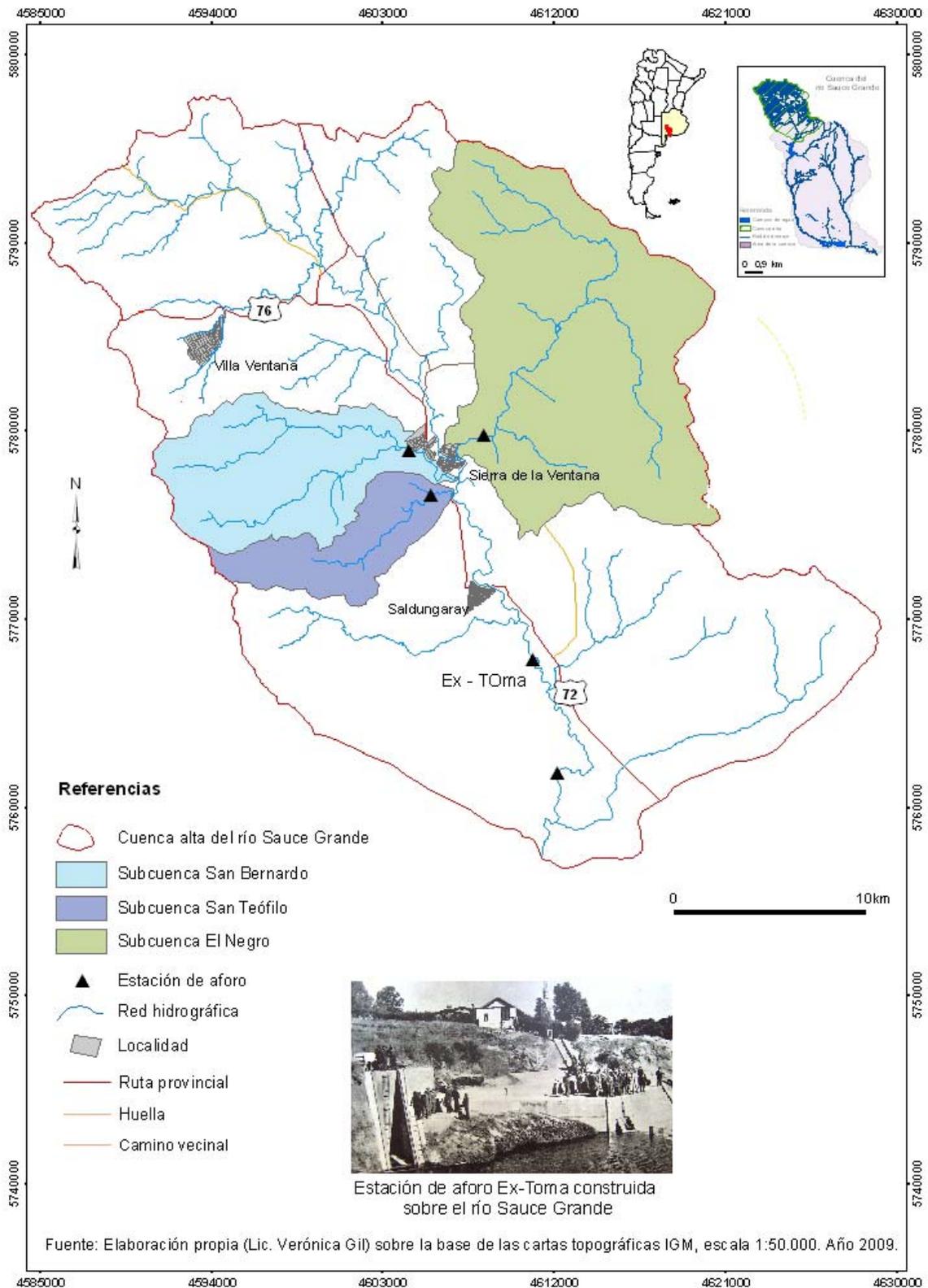


Figura 6.24. Localización de las estaciones de aforo en la cuenca alta del río Sauce Grande.

registros completos hace que el estudio de precipitaciones realizado previamente permita un análisis complementario importante al estudio de los caudales.

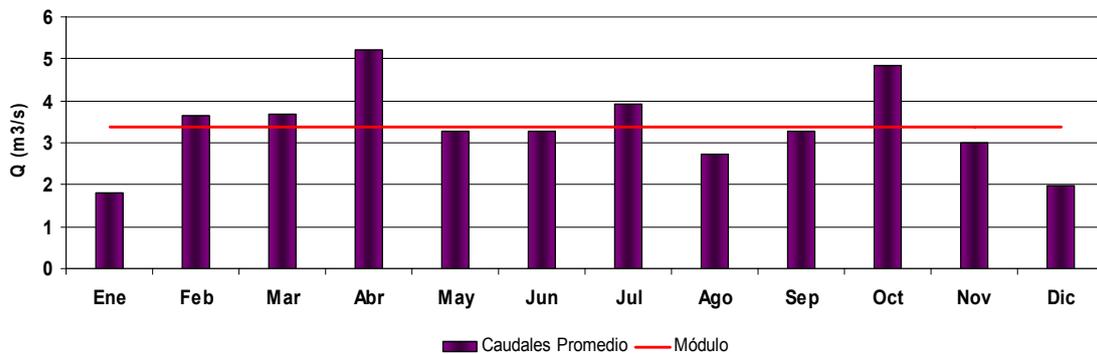


Figura. 6.25. Caudales medios mensuales (Ex – Toma) y módulo para el período 1910-1947.

Por otra parte, Grondona (1975) expone que el caudal del río Sauce Grande experimenta fuertes variaciones de un año a otro. En los períodos de sequía se registran valores de $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ mientras que en las crecientes, como la de abril de 1944, se estima que llegó a $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$ (más que el caudal promedio del río Negro a la altura de Primera Angostura $900 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente).

Siguiendo la propuesta de varios autores (Remenieras, 1974; Romero Díaz, 1989; Chow, 1994; Sánchez, 2004) se procedió al cálculo y análisis estadístico básico de esta serie de caudales mensuales. La misma representa un período de 37 años continuos de medición (1910 – 1947). Al tratarse de valores medios responde teóricamente a una distribución Gaussiana y las medidas de centralización y dispersión (Tabla. 6.12) caracterizan esta distribución.

Media	Intervalo de confianza \pm m ³ /s	Mediana	Intervalo de confianza \pm m ³ /s	Desviación estandar	Caudal máximo	Caudal mínimo
3,4	1,5	1,6	0,97	4,7	33,0	0,03

Tabla 6.12. Medidas de tendencia central y dispersión de los caudales medios mensuales.

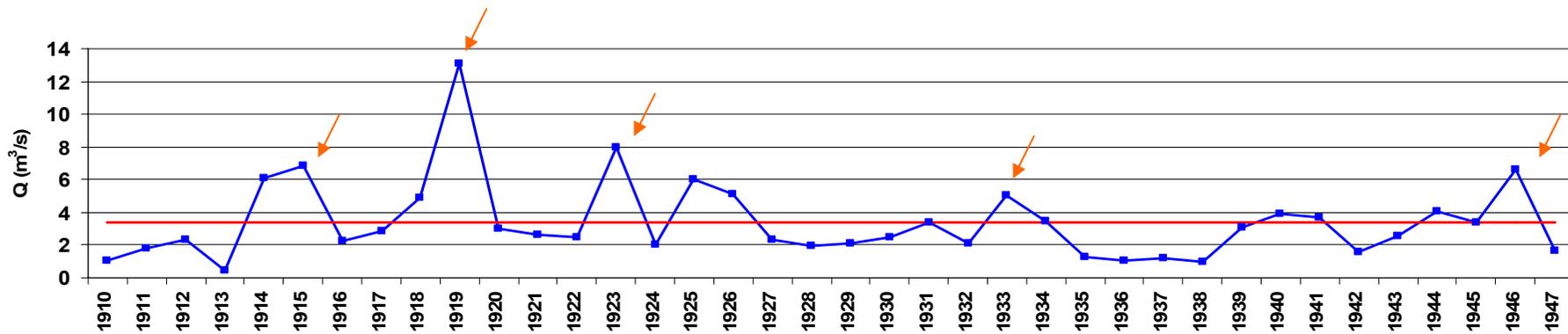


Figura 6.26. Caudales medios anuales del período 1910-1947. La línea roja indica el módulo del río.

Las flechas naranjas los años donde se registraron crecidas súbitas del río.

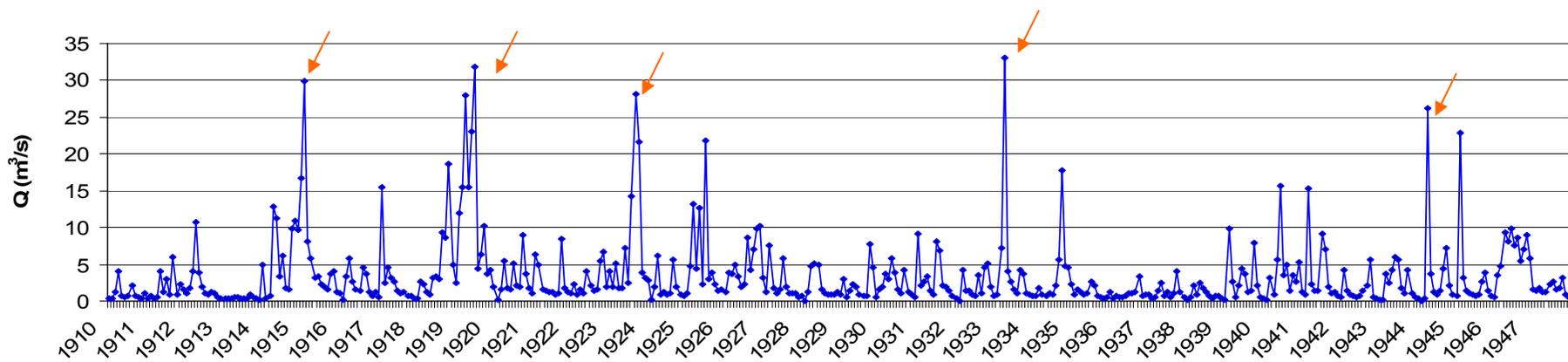


Figura 6.27. Caudales medios mensuales del período 1910-1947

Las flechas naranjas los años donde se registraron crecidas súbitas del río.

Para obtener las frecuencias relativas de los caudales mensuales éstos se agruparon en 10 clases. La figura 6.28. muestra que las mayores frecuencias se dan en el rango de caudales menores a 4 m³/s y las de menor frecuencia en los rangos que corresponden al intervalo 33 – 36 m³/s y mayores de 37 m³/s. También se destaca que existen dos rangos que poseen la misma frecuencia que son 17–20 m³/s y 29-32 m³/s. La distribución de frecuencias en este caso presenta una distribución asimétrica.

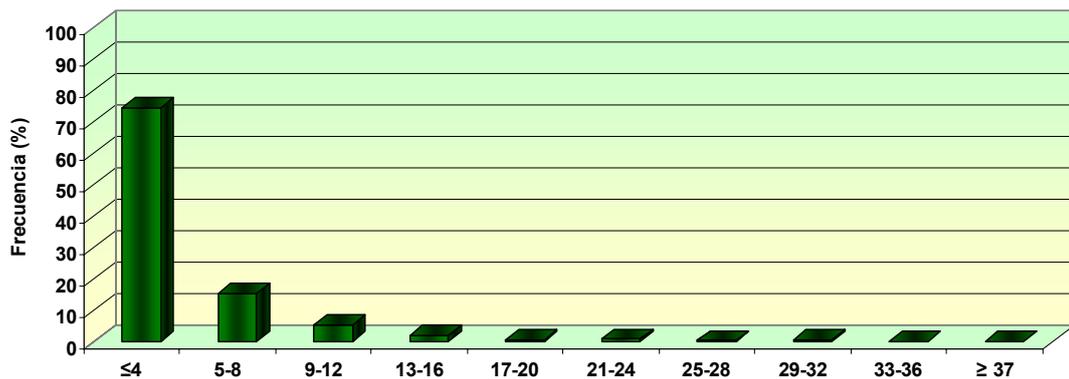


Figura 6.28. Frecuencia relativa de los caudales medios mensuales del período 1910-1047.

6.2.2. Análisis comparativo de los caudales medios históricos entre los años 1938 – 1943

La cuenca del río Sauce Grande posee dos afluentes importantes en cuanto al caudal que aportan. Estos son, el arroyo San Bernardo y el arroyo el Negro. Debido a esta condición son los dos afluentes que cuentan con estaciones de aforo para el período 1938 y 1946. La cuenca del arroyo El Negro posee una superficie de 206,48 km² y su superficie aforada es de 170 km². El mismo presentó para el período 1938 – 1943 un módulo de 0,55 m³/s, un máximo valor medio de 3,25 m³/s y un mínimo valor medio de 0,05 m³/s. Los valores medios máximos se dan en junio (0,82 m³/s), octubre (0,80 m³/s) y marzo (0,79 m³/s). El año hidrológico comienza en enero (Fig. 6.29).

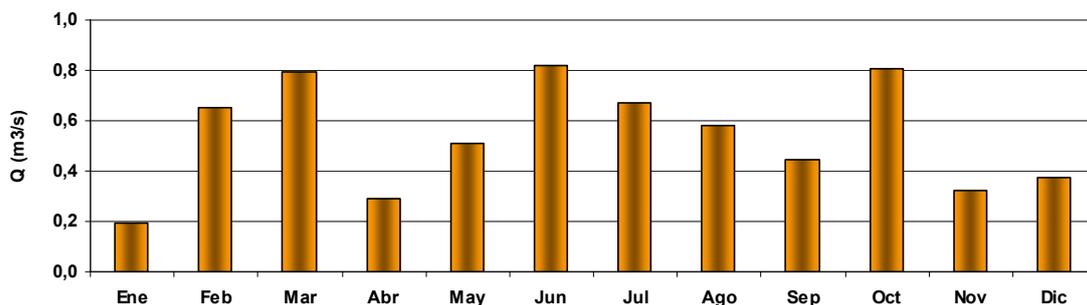


Figura 6.29. Caudales medios mensuales del arroyo El Negro para el período 1938-1946

La cuenca del arroyo San Bernardo posee un área de 82,07 km² y un módulo para el mismo período de 0,421 m³/s, un caudal máximo de 4,26 m³/s y un mínimo de 0,012 m³/s. Los valores medios máximos también se dan en junio (0,93 m³/s), marzo (0,52 m³/s), octubre (0,82 m³/s) (Fig. 6.30).

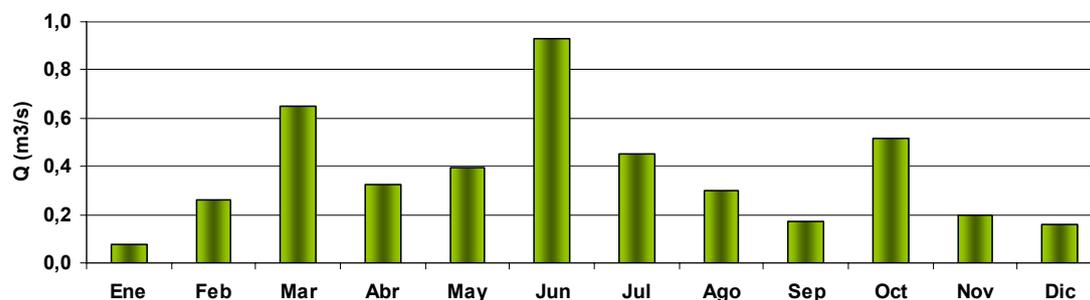


Figura 6.30. Caudales medios mensuales del arroyo San Bernardo para el período 1938-1946.

Asimismo, la superficie aforada de la Ex – Toma presenta para ese período un módulo de 3,94 m³/s, un caudal máximo de 33,80 m³/s y un mínimo de 0,06 m³/s. Los valores medios máximos presentan variaciones: el máximo valor medio se da en abril (6,99 m³/s) al cual le siguen en orden junio (5,31 m³/s), marzo (4,88 m³/s) y octubre (4,80 m³/s). Si se compara esta distribución de 9 años con el total de la serie (39 años) el único valor que se mantiene como máximo se da en el mes de abril. Aunque los valores mayores siguientes se mantengan en octubre, marzo, junio, febrero, los mismos varían el orden según la cantidad de años promediados (Fig. 6.31).

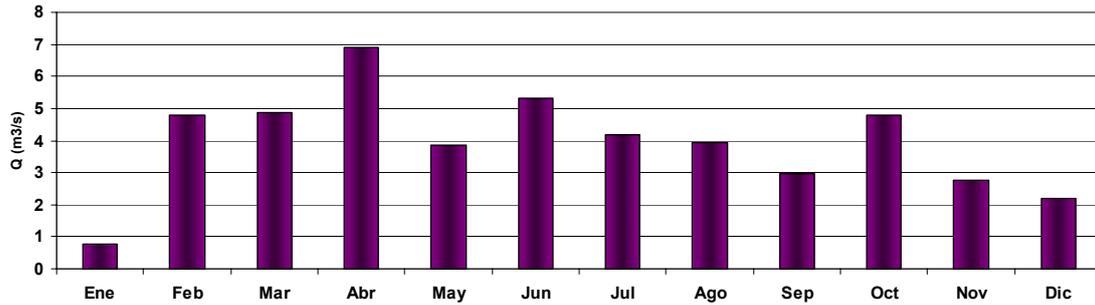


Figura 6.31. Caudales medios mensuales del río Sauce Grande para el período 1938-1946.

Pero como anteriormente se mencionó, los valores medios para un periodo determinado enmascarar el comportamiento de los caudales. En las figuras 6.32; 6.33 y 6.34 se puede observar la variación de los caudales medios mensuales junto con los caudales anuales y relacionado al módulo para el periodo 1938-1943.

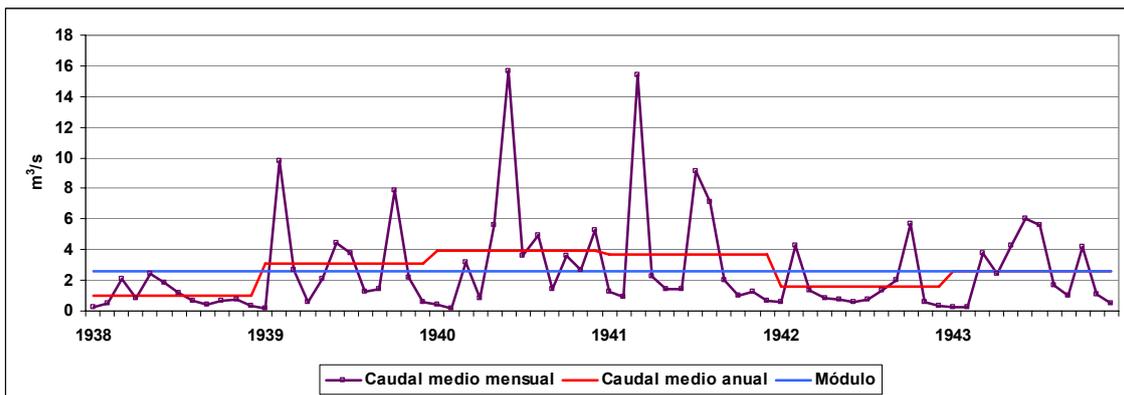


Figura 6.32. Distribución de los caudales medios mensuales para el periodo 1938-1943 del río Sauce Grande.

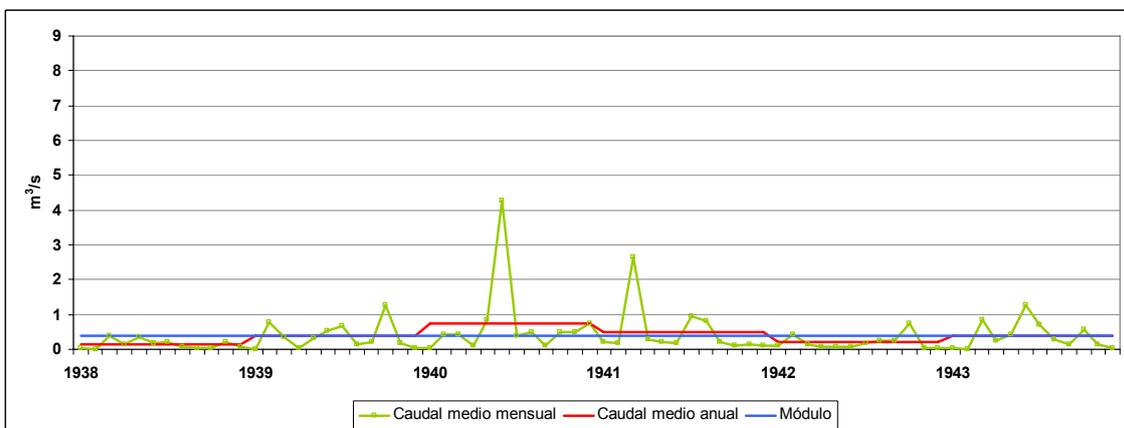


Figura 6.33. Distribución de los caudales medios mensuales para el periodo 1938-1943 del arroyo San Bernardo.

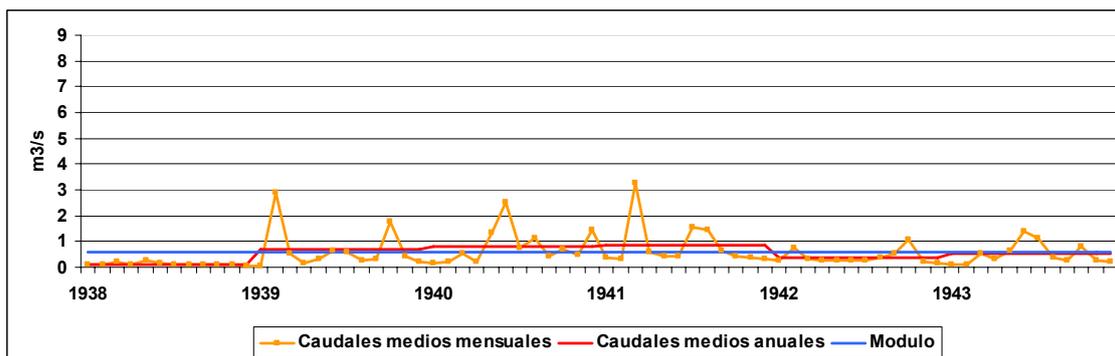


Figura 6.34. Distribución de los caudales medios mensuales para el periodo 1938-1943 del arroyo El Negro.

De las mismas se puede observar que los picos de máximos valores mensuales se producen en los mismos períodos. Por ejemplo, los máximos mensuales que se dieron en el comienzo y sobre el final del año 1939 o los máximos a mediados de 1940 y a principios del 1941.

6.2.2.1. Caudales específicos

Para realizar una mejor comparación de cuencas y sus regímenes hidrológicos es usual utilizar el caudal específico (q) de cada una. El mismo relaciona el caudal expresado en litros con la superficie de la cuenca aforada (Remenieras, 1974; Bruniard, 1992).

$$q = \frac{Q \times 1000}{Sup}$$

Q = caudal (m^3/s) Sup = superficie de la cuenca aforada

Se calculó para el arroyo San Bernardo, El Negro y el río Sauce Grande el caudal específico de cada mes para el período 1938-1943. La figura 6.35 muestra la variación de los mismos.

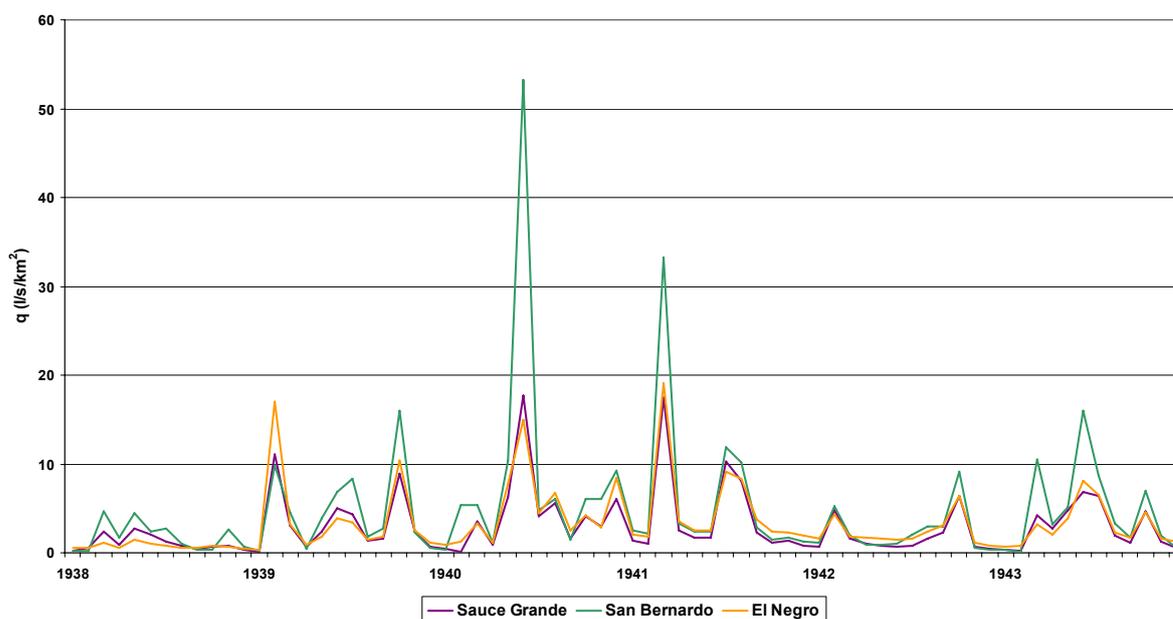


Figura 6.35. Caudales específicos para la cuenca del río Sauce Grande y dos de sus afluentes principales.

La cuenca de arroyo San Bernardo presenta en la mayoría de los años caudales específicos mayores. El aporte mayor de caudal al río Sauce Grande por lo tanto, lo realiza el arroyo San Bernardo. La cuenca del arroyo El Negro sólo en períodos de bajo caudal supera el aporte del San Bernardo por lo cual se puede inferir que el caudal aportado es menor pero se mantiene más estable a lo largo del año, aún cuando las lluvias no sean suficientes para el aumento del mismo.

Si bien la distribución es semejante en las diferentes estaciones de aforo las mismas varían en los valores de caudal específico aportado. Una de las primeras causas es la diferencia de área entre las diferentes cuencas. Así, la cuenca del arroyo San Bernardo que es la más pequeña en superficie aporta caudales mayores que la cuenca del arroyo El Negro que la dobla en área. También, es importante destacar aquí que el nacimiento de ambas cuencas discurren por distintos cordones serranos. Los mismos poseen diferentes alturas y los montos de precipitación varían como se analizó anteriormente. Por otra parte, el caudal del río Sauce Grande representa el aporte no sólo de las dos subcuencas analizadas (El Negro y San Bernardo) sino del resto de las cuencas que serán analizadas con posterioridad en esta tesis.

Las causas de las variaciones, aparte del aporte de las precipitaciones, se deben a las características morfométricas, morfoestructurales y biográficas presente en cada cuenca.

6.2.3. Relación entre caudales y precipitaciones para el período 1938 – 1942

Las variaciones del caudal, al ser la cuenca del río Sauce Grande de régimen pluvial, son reflejo de las variaciones en las precipitaciones. Para demostrar y estudiar esta relación se han representado los distintos años en la figura 6.36 donde aparecen conjuntamente los caudales medios mensuales para el río Sauce Grande, el arroyo El Negro y el arroyo San Bernardo y las precipitaciones medias mensuales para las estaciones Peralta, Sierra de la Ventana y Saldungaray. El período elegido se basó en la posibilidad de comparación entre datos disponibles.

En el año 1938 la curva de precipitación presenta tres máximos (marzo, mayo y noviembre). Los datos de caudales del arroyo El Negro y San Bernardo reflejan esta distribución, siendo mayores en los tres meses de máximas precipitaciones. Sin embargo el comportamiento de los caudales en el aforo La Toma tiene algunas variaciones entre el máximo de precipitación y el aumento de los caudales. Esto se debe al aporte de otras cuencas no analizadas en este apartado y el aporte de agua subterránea a la mantención del caudal.

En 1939 las precipitaciones son mayores y se presentan con dos máximos que superan los 100 mm (febrero y octubre). En este caso se refleja considerablemente en todas las estaciones de aforo la influencia de las precipitaciones en el aumento del caudal. En el caso del aforo La Toma los caudales superan la media (3,39 m³/s) en la mitad de los meses. El aumento de caudal en junio, julio se debe también a un aporte pluvial que llegó en junio a 100 mm, situación que se refleja mayormente en los caudales de La Toma.

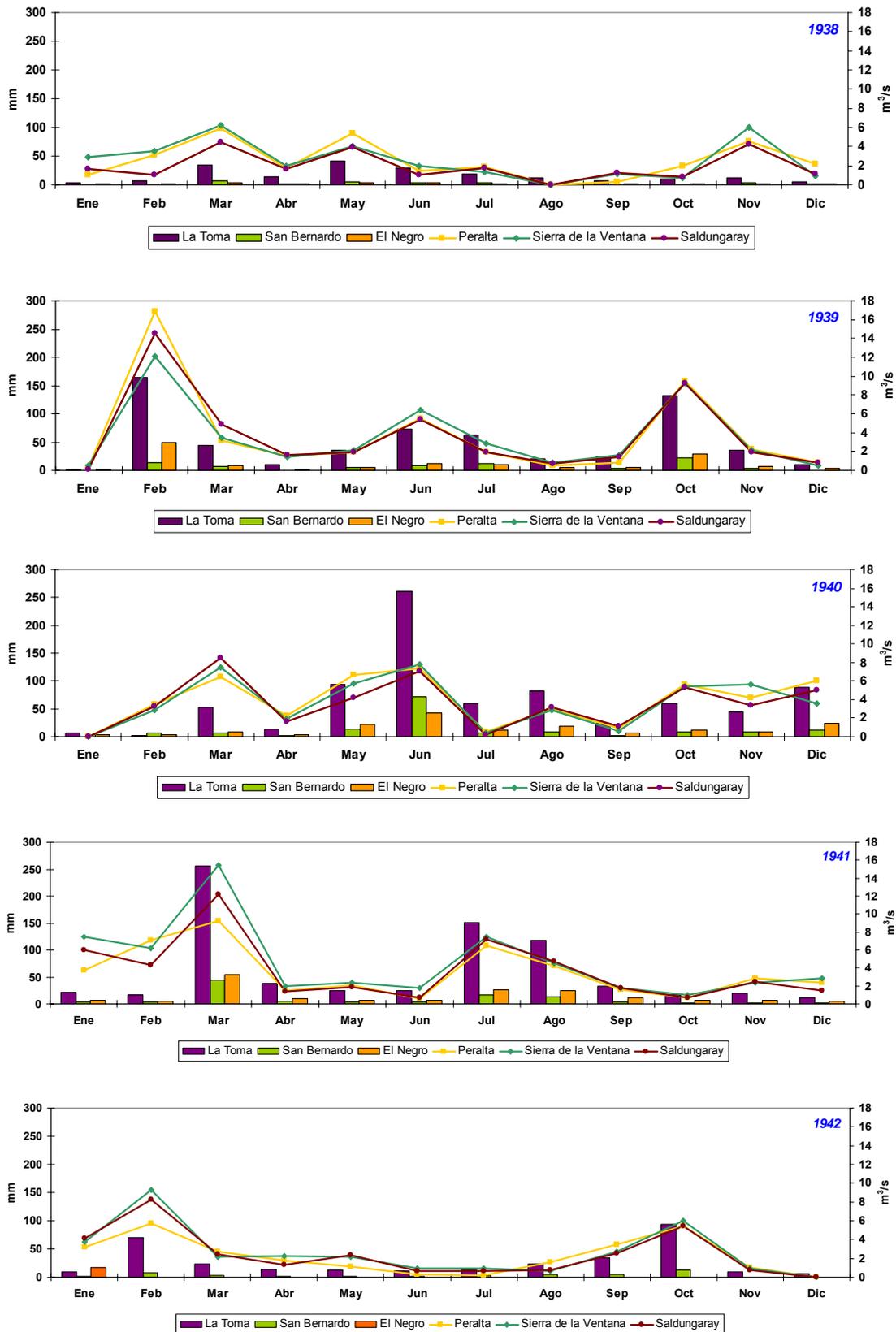


Figura 6.36. Comparación entre los caudales medios mensuales y las precipitaciones medias mensuales para los diferentes años del período 1938-1942. Las barras indican los caudales medios mensuales y las líneas continuas las precipitaciones medias mensuales.

En 1940 se produce un solo pico de caudales importantes en junio en las tres cuencas aforadas. El mismo coincide con un mes de precipitaciones medias de 100 mm y de meses anteriores con precipitaciones entre 50 y 150 mm. En la figura 6.33 se observa que la cuenca del arroyo San Bernardo posee una respuesta inmediata a las precipitaciones, hecho que también se ve reflejado en el mayor caudal específico. Este comportamiento se puede atribuir a que la cuenca alta del Sauce Grande y las subcuencas presentaron un período de déficit de caudales en verano y comenzó un período de recarga entre marzo abril. Al continuar precipitaciones abundantes en los meses de mayo y junio se generó un excedente que se vió reflejado en los caudales. Si bien no se puede comprobar debido a la falta de datos de temperatura en esas fechas para realizar un balance hídrico, si se puede inferir el comportamiento de los realizados para el área entre 2002 y 2005 por Casado *et al.* (2007).

El año 1941 presentó el mayor pico de caudal en marzo, coincidente con el mes de mayores precipitaciones. El segundo pico de se presentó en julio y agosto también coincidiendo con un aumento de las precipitaciones. En el mes de enero y febrero se puede distinguir la diferencia que existe entre los valores de precipitación de las estaciones (entre 20 y 30 mm en el mismo mes). Sin embargo las variaciones en el caudal medio no son significativas. Como en 1940 aquí el caudal específico experimenta un aumento considerable principalmente en la cuenca del arroyo San Bernardo en el mes de marzo coincidiendo con el mayor aporte de precipitaciones realizada por la estación Sierra de la Ventana.

Por último, el año 1942 presenta dos picos de precipitación coincidentes con dos picos de caudales en febrero y octubre. El resto del año las precipitaciones están comprendidas entre los 50 y 5 mm por lo cual los caudales no experimentan variaciones considerables.

6.2.4. Análisis de registros de caudales actuales

A la vista de los datos recogidos en las estaciones de aforo situadas en algunos puntos de la cuenca y anteriormente analizadas, los caudales medios del río Sauce Grande y sus afluentes presentan variaciones, dando idea de la elevada variabilidad interanual. La altura de las aguas sirve para determinar indirectamente los caudales a través de la curva de descarga, pero la utilidad de su uso directo se advierte en el estudio

de crecientes extraordinarias ya que posibilita determinar cotas de alerta o posibles cotas de inundación (Bruniard, 1992).

Los datos actuales pertenecientes a los años 2004 - 2007, proporcionados por la Autoridad del Agua, permiten un análisis de valores medios y de valores máximos y mínimos absolutos. Para el río Sauce Grande, los valores medios mensuales en este período de cuatro años mantienen una distribución casi constante presentándose dos medias mensuales destacadas, una en el mes de diciembre del 2004 y otra en el mes de octubre del 2005. En el año 2007 se registraron caudales medios mensuales que superaron la media en el mes de septiembre y octubre, principalmente (Fig. 6.37).

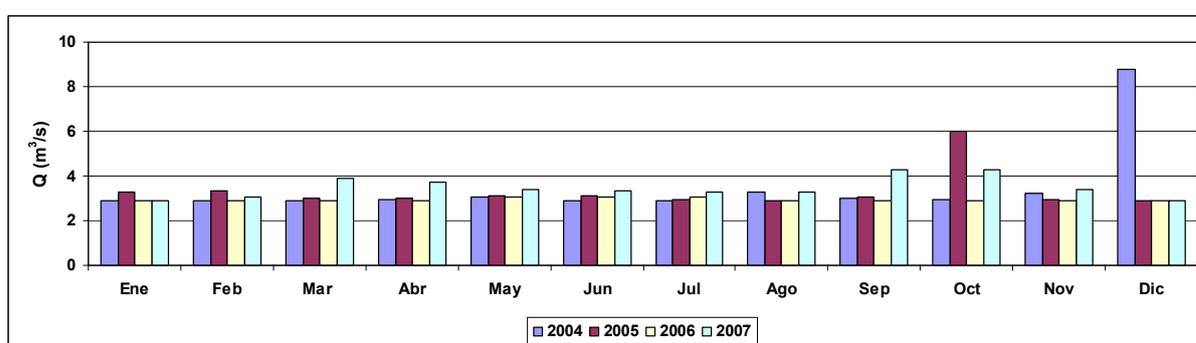


Figura 6.37. Caudales medios mensuales para el río Sauce Grande.

Si se analizan los valores máximos absolutos se pueden observar los valores que en el mes de diciembre de 2004 y octubre del 2005 hicieron que la media mensual aumentara y se desviara considerablemente de la media anual. En la tabla 6.13 se resaltan con rojo los caudales extremos de los años 2004, 2005 y 2007. Los valores de estos caudales ocupan, como se mencionó anteriormente, los canales de crecidas (*bankfull discharge*) y en algunos casos las llanuras de inundación. De ahí la importancia del análisis de los valores absolutos que se enmascaran cuando se analizan los valores medios.

Atendiendo a la premisa de que los caudales en la cuenca alta del río Sauce Grande son reflejo de las precipitaciones. Se compararon los diferentes caudales de los arroyos San Bernardo, San Teófilo, El Negro y el río Sauce Grande con los datos actuales pertenecientes a las estaciones de PPET, Villa Ventana y Nonthue.

Año	2004	2005	2006	2007
Mes	m ³ /s			
Ene	2,90	3,63	2,90	2,90
Feb	2,90	4,08	2,90	3,72
Mar	2,90	3,18	2,90	7,18
Abr	3,54	4,02	2,90	5,56
May	3,31	3,15	3,11	3,56
Jun	3,03	3,82	3,07	3,37
Jul	2,9	3,13	3,89	3,31
Ago	3,71	2,90	2,90	3,31
Sep	3,81	3,69	2,90	11,90
Oct	3,34	12,05	2,93	19,00
Nov	3,33	7,60	2,90	3,53
Dic	293,85	2,90	2,90	2,90

Tabla 6.13. Caudales máximos absolutos mensuales en la estación de aforo del río Sauce Grande.

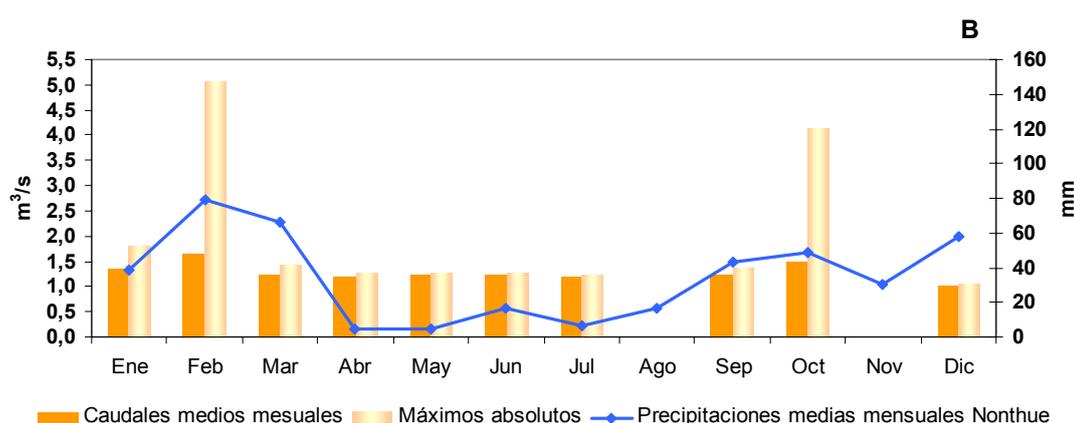
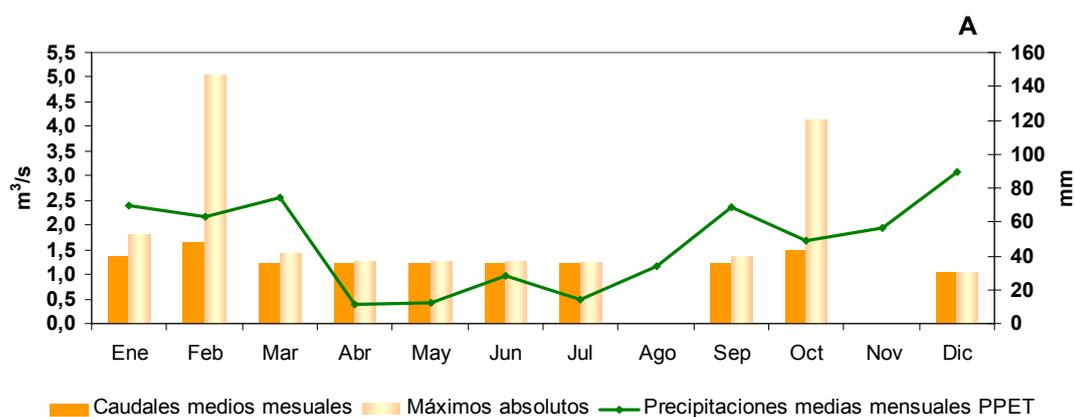


Figura. 6.38. Relaciones entre los caudales medios mensuales y los máximos absolutos del arroyo El Negro con las precipitaciones medias mensuales de PPET y Nonthue para el año 2005.

En el caso del arroyo El Negro el mejor ajuste lo presentan los datos de caudal con los datos de precipitación de la estación Nonthue (Fig. 6.38 B), no siendo así si se comparan los caudales con la lluvia de la estación PPET (Fig. 6.38 A). De los cuatro años analizados se presenta 2005 donde se evidencia el ajuste de los caudales tanto mensuales como los máximos absolutos en relación con las precipitaciones mensuales. Si se analiza espacialmente la localización de ambas estaciones con respecto a la cuenca se desprende la afirmación anteriormente realizada. Ya que la cercanía de la estación Nonthue es mayor que la del PPET y también se corrobora la existencia de diferencias en las precipitaciones según se encuentre en el cordón de Sierra de la Ventana o en los cordones de Las Tunas y Pillahuincó.

Si se comparan los datos de precipitaciones mensuales del PPET y Villa Ventana con el caudal mensual del San Teófilo y El Belisario se puede establecer ajustes entre las dos variables. En el caso de arroyo San Teófilo se presenta de los cuatro años analizados el del 2004. Aquí se puede observar la clara respuesta de los caudales ante eventos de precipitación (Fig. 6.39). En el caso del arroyo El Belisario se posee datos de caudal sólo del 2004 y representa una subcuenca del arroyo del Oro, por ello sólo se lo analiza como caso especial y no se lo consideró anteriormente para el análisis del caudal específico. A estos datos se los comparó con los de precipitación de la estación Villa Ventana y PPET. Sigue existiendo aquí una respuesta clara de los caudales a las precipitaciones contabilizadas en la estación de Villa Ventana (Fig. 6.40).

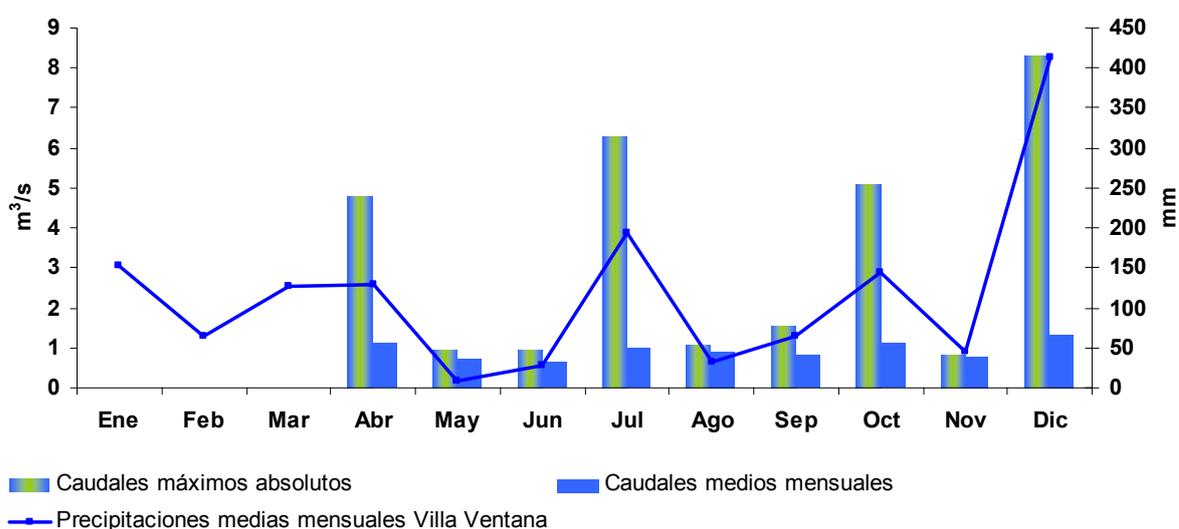


Figura 6.39. Comparación entre las precipitaciones mensuales y los caudales medios mensuales y máximos absolutos del arroyo San Teófilo para el año 2004

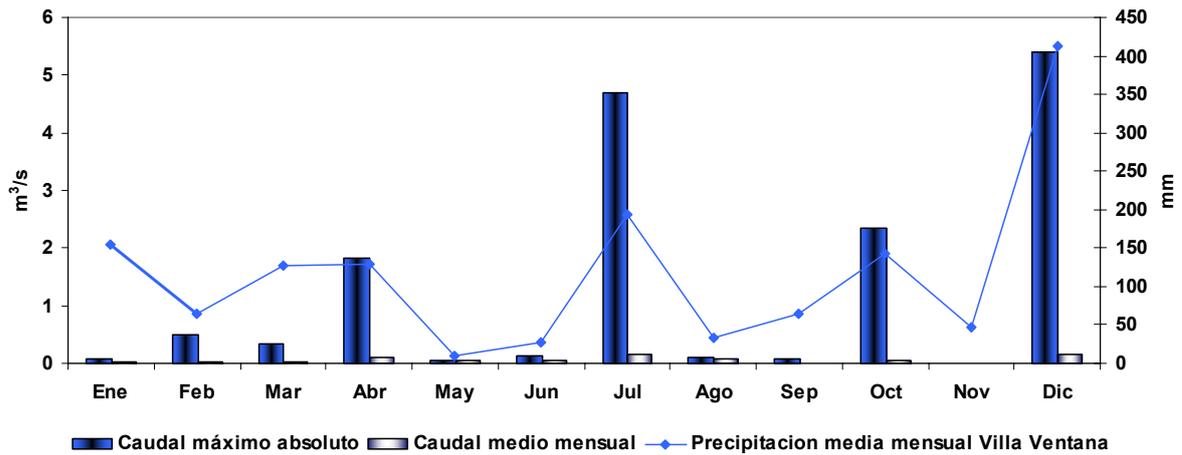


Figura 6.40. Comparación entre las precipitaciones mensuales y los caudales medios mensuales y máximos absolutos del arroyo El Belisario para el año 2004

Para el caso del río Sauce Grande, se analizó también el año 2004, ya que presenta un máximo absoluto de 293,8 m³/s. Se compararon sus caudales medios mensuales y los caudales máximos absolutos con los datos de lluvia del PPET, Villa Ventana y Nonthue (Fig. 6.41). En este caso la estación de aforo se encuentra a 30 km en línea recta de las 3 estaciones pluviométricas por lo cual se encuentran variaciones respecto a la respuesta que presentan los valores correspondientes a los meses entre enero y noviembre. En cambio, para el mes de diciembre el caudal aumentó en relación directa a las lluvias que se produjeron en toda la cuenca.

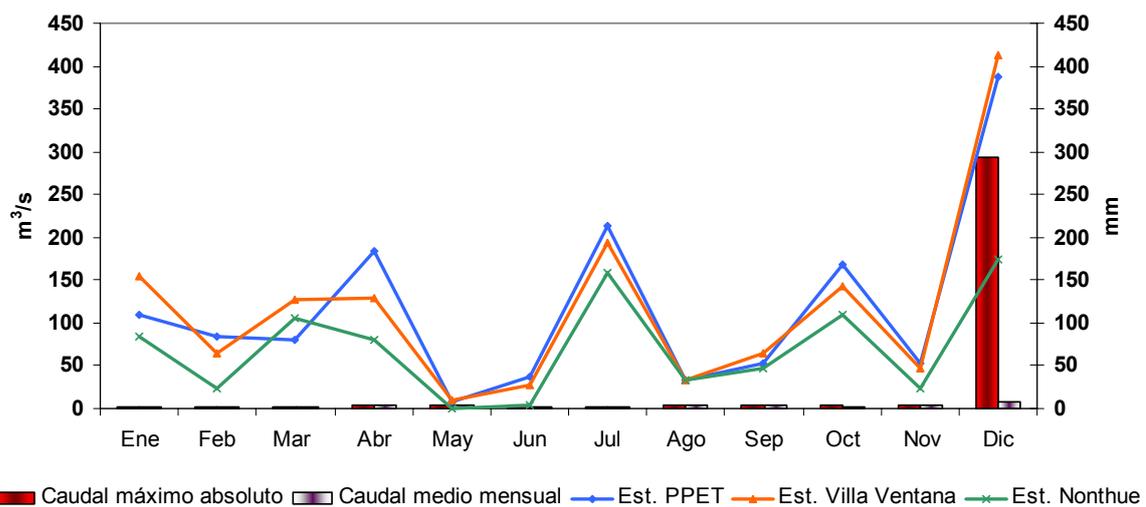


Figura 6.41. Comparación entre las precipitaciones mensuales y los caudales medios mensuales y máximos absolutos del río Sauce Grande para el año 2004

6.2.5. Datos obtenidos del aforamiento directo de sectores representativos de la cuenca alta

Una de las formas de medir el caudal de un río es a partir del método propuesto por Sander (1998) que permite obtener valores estimativos del caudal de una corriente. La forma de aforo consiste en elegir primeramente el lugar del curso de agua, determinar una distancia longitudinal, medir la sección transversal de la misma y dividir el tramo elegido en tres sectores. Una vez obtenidos todos estos datos, se arroja un testigo al agua y se toma el tiempo que tarda en recorrer la distancia elegida. Este procedimiento se realiza como mínimo 5 veces en cada tramo. En este caso se realizaron las mediciones a lo largo de una distancia de 10 m de recorrido y se contabilizó el tiempo con cronómetro digital. Para el resto de las mediciones se emplearon cintas métricas. La principal desventaja de este método es que solamente se calcula la velocidad en la superficie de la corriente (Fig 6.42 Método de Sanders).



Figura 6.42. Aforos directos realizados en un tramo de la corriente. Detalle de instrumental para medición de caudal.

El aforo con molinete permite realizar mediciones de caudal más exactas ya que con el mismo se realizan mediciones a lo largo de la sección transversal a diferentes profundidades. Se utilizó el correntómetro digital TECMES Modelo TS 1001. Se estableció la sección transversal y se realizó la medición a diferentes profundidades cada 1 m. Se obtuvo para cada punto una velocidad. El caudal se calculó multiplicando la velocidad media por el área de la sección vertical (Fig. 6.42 Molinete hidrométrico)

El método de Sander se empleó para medidas puntuales a la altura del puente Peralta durante el año 2004. El molinete se empleó en el año 2009 luego de la adquisición del equipo por parte del Departamento de Geografía y Turismo. Así se realizaron para la estimación del caudal superficial a partir del método de Sander 6 mediciones. En la tabla 6.14 se presentan los caudales obtenidos para cada una de ellas.

	enero	febrero	abril	mayo	agosto	Septiembre	
Día	22	29	18	6	8	11	Promedio
Caudal	0,8	0,9	3,7	2,6	5,8	3,6	2,9

Tabla 6.14. Medidas puntuales de caudal durante el año 2004 aguas arriba de los aforos anteriormente analizados.

Los datos obtenidos pertenecientes a la Autoridad del Agua y anteriormente analizados para el 2004 permitieron verificar los resultados. Estos son altamente satisfactorios considerando que los mismos son tomados aguas arriba de donde se realizan las mediciones de la Autoridad del Agua.

Respecto a las medidas realizadas con el molinete hidrométrico, las más destacables y no repetitivas, si se considera la existencia de datos oficiales para el período de medición, se realizaron en 2009. Fundamentalmente aquí se consideran 3 de ellas, 2 fueron tomadas el mismo día (9 de marzo) en dos sectores del río Sauce Grande y la otra fue tomada después de una lluvia de 56 mm el día 4 de marzo.

Aforo 1: cercanías al puente Peralta donde ya se han realizado otros aforos directos.

Aforo 2: 2 km aguas abajo del puente Saldungaray.

Aforo 1		Aforo 2
4 de marzo	9 de marzo	9 de marzo
2,17	0,07	0,08

Tabla 6.15. Aforos directos en el río Sauce Grande. Año 2009.

El año 2009 fue uno de los más secos que tuvo el río Sauce Grande. Esto se refleja en el escaso caudal aportado que se obtuvo en la medición del 9 de marzo (Tabla 6.15). Sin embargo la respuesta del caudal a precipitaciones de más de 50 mm en un día se comprueba con la medición del día 4 de marzo. Si se compara las mediciones del 9 de marzo la variación del caudal a lo largo del río puede ser causa del aporte generado por los afluentes San Bernardo y El Negro, sin dejar de tener en cuenta el aporte subterráneo, que en períodos de estiaje del río cobra mayor relevancia.

CAPITULO 7

APROXIMACION CUANTITATIVA EN GEOMORFOLOGIA FLUVIAL: ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS E ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

Según Camarasa (1995) las cuencas fluviales están integradas por superficies complejas cuyas propiedades pueden ser descriptas numéricamente. Strahler (1974) se refiere a morfometría fluvial como la medida de las propiedades geométricas de la superficie sólida de un sistema de erosión fluvial. La importancia de definir tales características es que proporcionan información aplicable al conocimiento de la dinámica fluvial, análisis de la génesis y evolución de una avenida y a la determinación de procesos erosivos. El estudio morfométrico permite relacionar las dimensiones de la cuenca con los procesos fluviales que en las mismas se producen y proporciona información tanto geológica como hidrológica de relevancia que puede ser aplicada posteriormente al estudio de la dinámica (Strahler, 1974; Baker *et al.*, 1988, Romero Díaz, 1989; Camarasa, 1995; Senciales González, 1999; Diez Herrero, 2004).

El estudio del comportamiento y dinámica hídrica de una cuenca ante eventos torrenciales se torna difícil cuando no se cuenta con información meteorológica e hidrométrica contemporánea que permita su correlación o cuando las mismas están desactualizadas o bien son inexistentes. Este es el caso de las cuencas abordadas en esta tesis. Por ello, se subraya la importancia del exhaustivo análisis de diferentes variables e índices morfométricos que reflejan o destacan las interacciones entre los distintos factores.

7.1. Análisis morfológico y morfométrico

La tipología de la red, la definición y trazado de colectores principales son algunos aspectos que definen la morfología de una cuenca (Senciales González, 1999). Para proceder al trazado de la red de drenaje, se debe definir lo que se entiende por cauce. Esto se debe a que el mismo es el principal elemento constitutivo de la red y por otra parte, como es el punto de origen donde se inicia una red hidrográfica, se deben determinar las dimensiones mínimas que permiten identificar el cauce estable. Entonces, se denomina cauce a *“cualquier incisión del relieve que de origen a una arroyada concentrada y que implique profundidades y amplitudes mayores a 30 cm continuadas a lo largo de más de 20 m hasta la unión con cauces de dimensiones similares o*

superiores” (Senciales González, 1999: 39) (Fig. 7.1). Estas dimensiones permiten que los cauces no se destruyan por labranza u otro tipo de actividad humana.

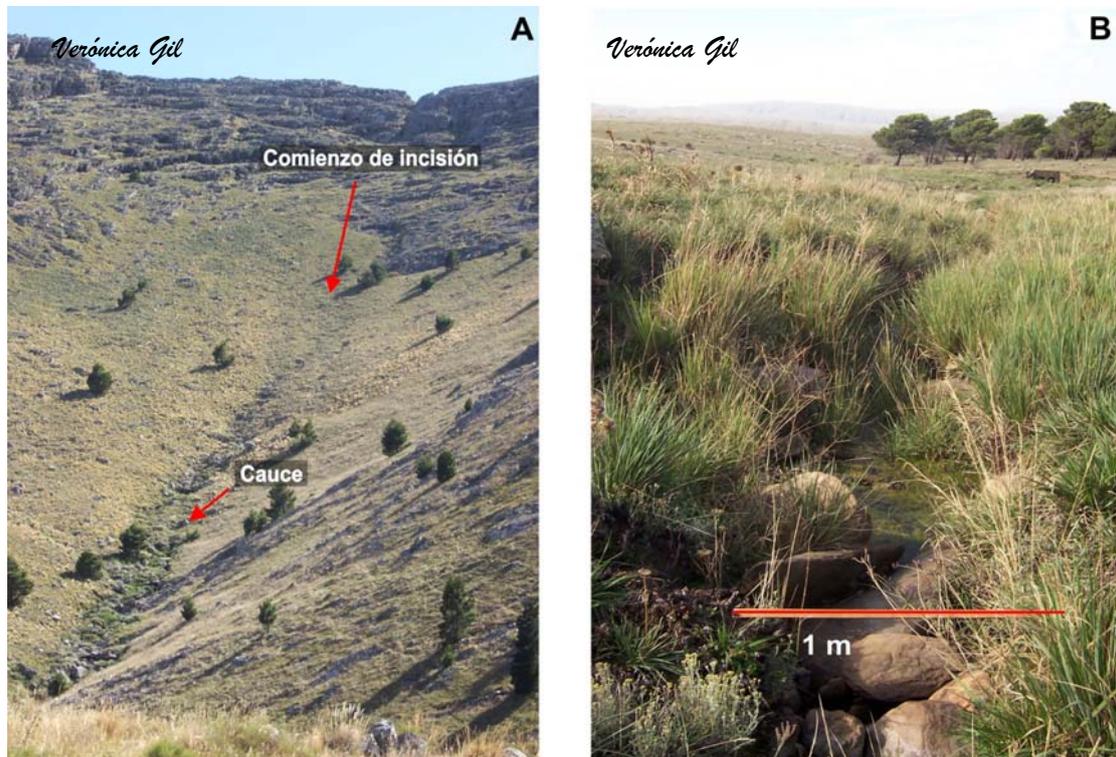


Figura 7.1. (A) Incisión y posterior arroyada concentrada formando un cauce en los interfluvios. (B) Cauce de orden 2 en el sector de piedemonte con un ancho mínimo de 1 m.

Una vez trazada la red de drenaje y establecido el orden jerárquico para cada uno de los cauces de la cuenca del río Sauce Grande, se obtuvo un orden 6 de jerarquía máximo. Se identificaron y contabilizaron la cantidad de cauces y sus respectivas subcuencas pertenecientes a distintos órdenes tanto para la cuenca alta como para la totalidad de la misma (Tabla 7.1 y Fig. 7.2).

Orden Jerárquico	1	2	3	4	5	6	Total
Cuenca alta del río Sauce Grande	953	285	82	22	4	1	1.347
Cuenca del río Sauce Grande (incluye cuenca alta)	1.038	304	86	22	4	1	1.455

Tabla 7.1. Número de segmentos de cauces según el orden jerárquico.

Se reconocieron 21 sub-cuencas que drenan al curso principal de la cuenca alta de río Sauce Grande (Fig 7.3.-1). De ellas 3 son de orden 5 (El Negro, San Bernardo y

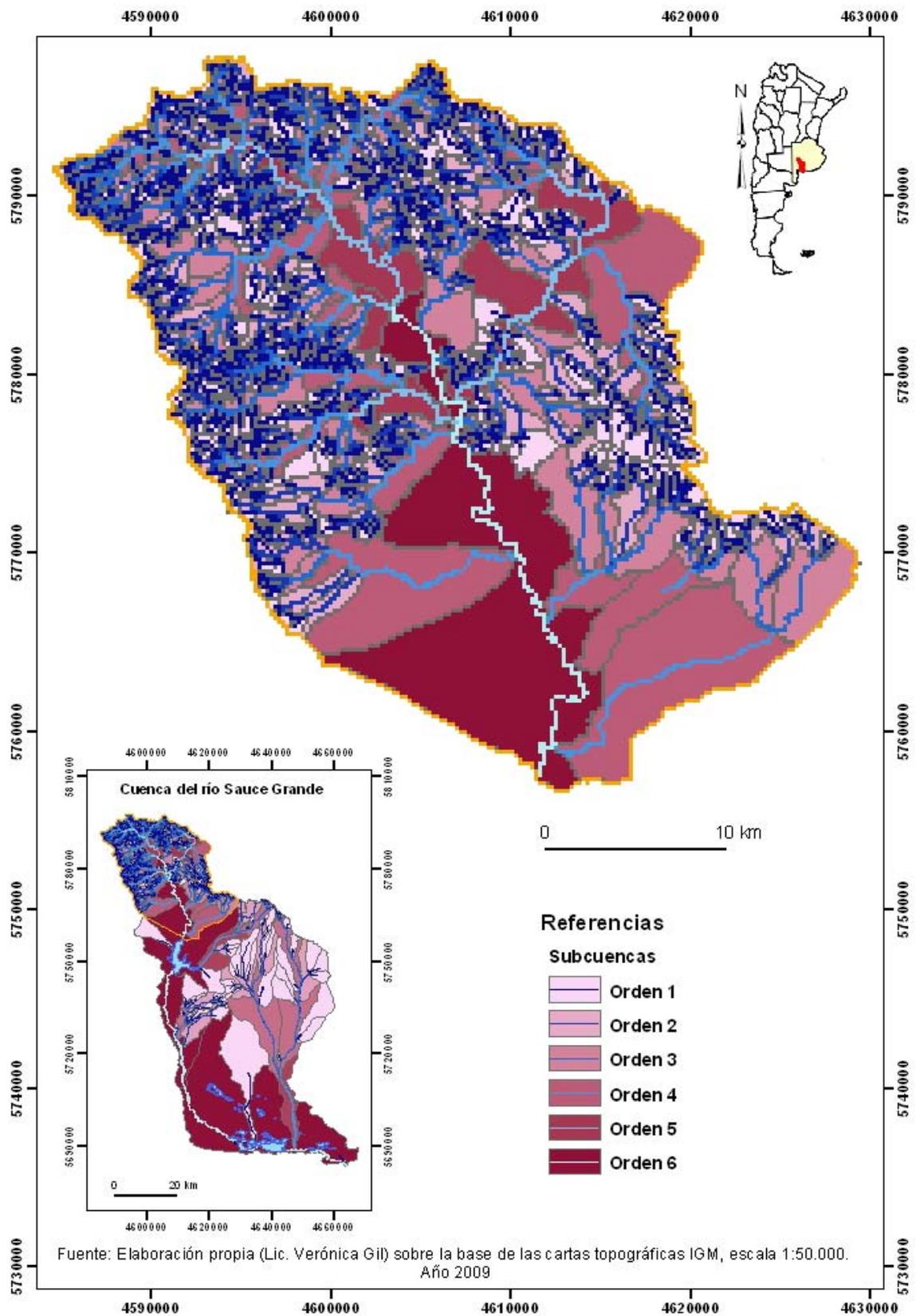


Figura 7.2. Subcuencas para cada curso de agua según su orden de jerarquía

Rivero) 12 de orden 4 (Nacimiento o Destierro Primero, Mambaches, del Abra, El Atravesado, El Toro, San Teófilo, Las Mercedes, El Zorro, Rivera, del Oro, Horqueta del Sauce, de los Remansos) y 6 de orden 3 (de las Piedras, Abra Fea, Esmeralda y 3 sin nombre). El resto de las sub-cuencas de orden 1 y 2 que drenan al curso principal del río se consideran como parte integrante de la cuenca alta del río Sauce Grande (CASG) en su conjunto. De todas maneras, las 3 cuencas sin nombre de orden 3 no serán analizadas por separado como el resto ya que no alcanzan un valor de superficie que sea relevante para su análisis.

En la figura (7.3.-2) se observa la disposición de las cuencas anteriormente mencionadas en relación con el río Sauce Grande y el número de orden jerárquico. La orientación de los ejes coincide con la orientación general de los cauces principales de cada cuenca analizada. Se observa cuáles de ellos ingresan al río por la margen derecha y cuáles por la izquierda. Se deduce la uniformidad en la distribución en cuanto al número de cuencas que llegan al río por ambas márgenes. La simetría se mantiene en las cuencas de orden 4 que son las que predominan. Las cuencas de orden 3 tienen su nacimiento en los sectores de menores alturas y drenan menor superficie que las de órdenes superiores, la mayoría llega al río por su margen izquierda. La subcuenca del arroyo El Negro es de las 3 de orden 5 la que posee la mayor superficie y llega al río Sauce Grande por su margen izquierda.

7.1.1. Tipología de las redes de drenaje

Una vez definida y trazada la red de drenaje, es posible la identificación de los diversos tipos de redes de drenaje. Si bien es un aspecto cualitativo en el análisis, es la base de referencia de los valores numéricos que se obtienen en el análisis cuantitativo. De esta manera, si se considera la CASG en su conjunto esta presenta un trazado subdendrítico. Esta clasificación permite observar la influencia que ejercen sobre el las redes, la litología y estructura, el clima o ambas combinadas (Howard, 1967). En el caso de la CASG se trata de una red que si bien se presenta dentro de un medio climático de transición y posee una red bien integrada, en los sectores donde los cauces discurren sobre las rocas paleozoicas se muestra una clara dependencia estructural que condiciona el trazado, ya sea de forma paralela, rectangular, etc (Fig. 7.4). El diseño subdendrítico se mantiene si se analiza las diferentes sub-cuencas con particularidades de trazado. En el caso de las sub-cuencas Abra Fea y El Atravesado el tipo de unión entre los tributarios forma en la mayoría de los casos ángulos rectos por lo cual se asemeja a un trazado de

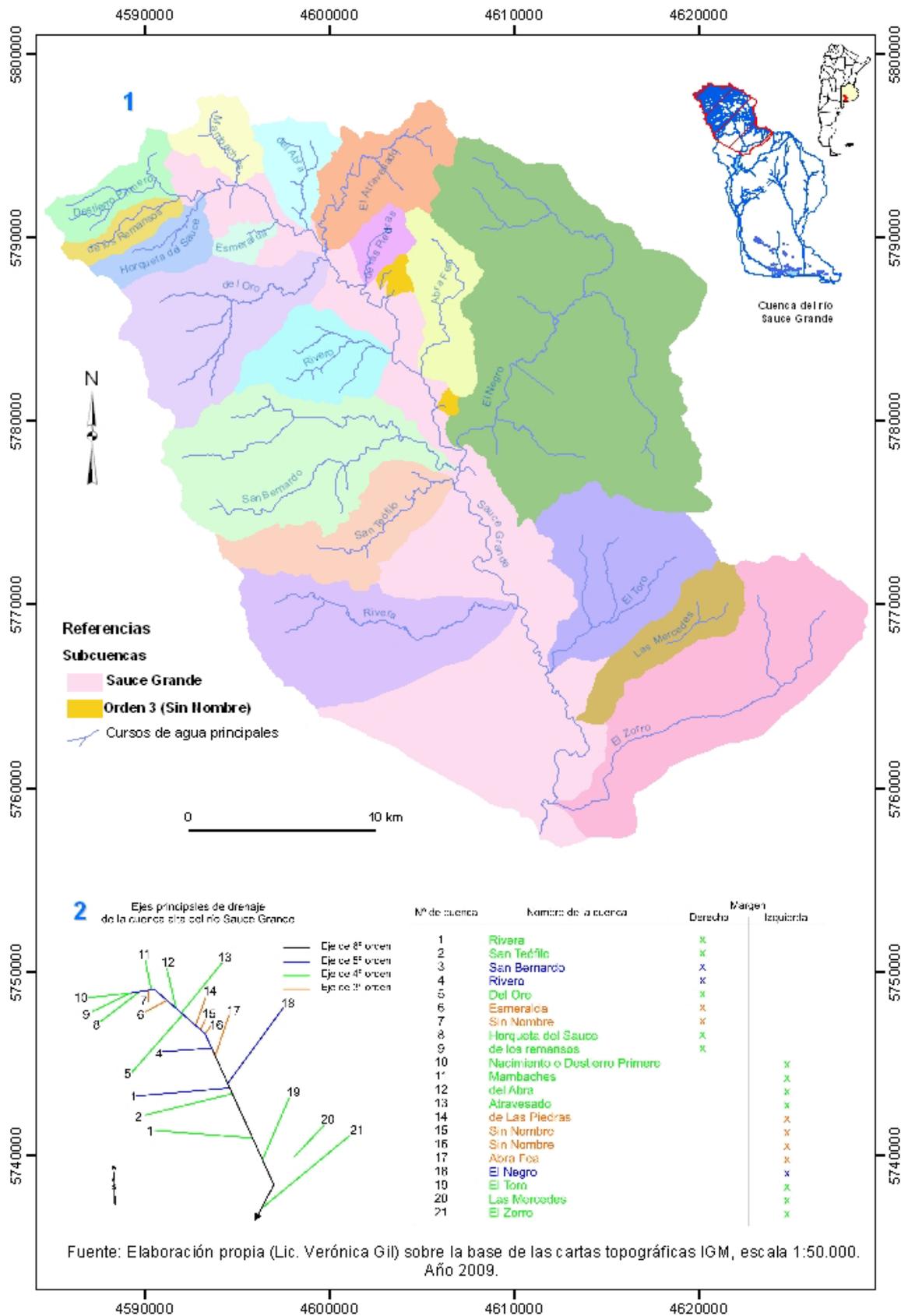


Figura 7.3. Subcuencas que drenan el curso principal de la cuenca alta del río Sauce Grande. (1) Identificación de las cuencas. (2) Subcuencas como ejes de drenaje y sus órdenes.

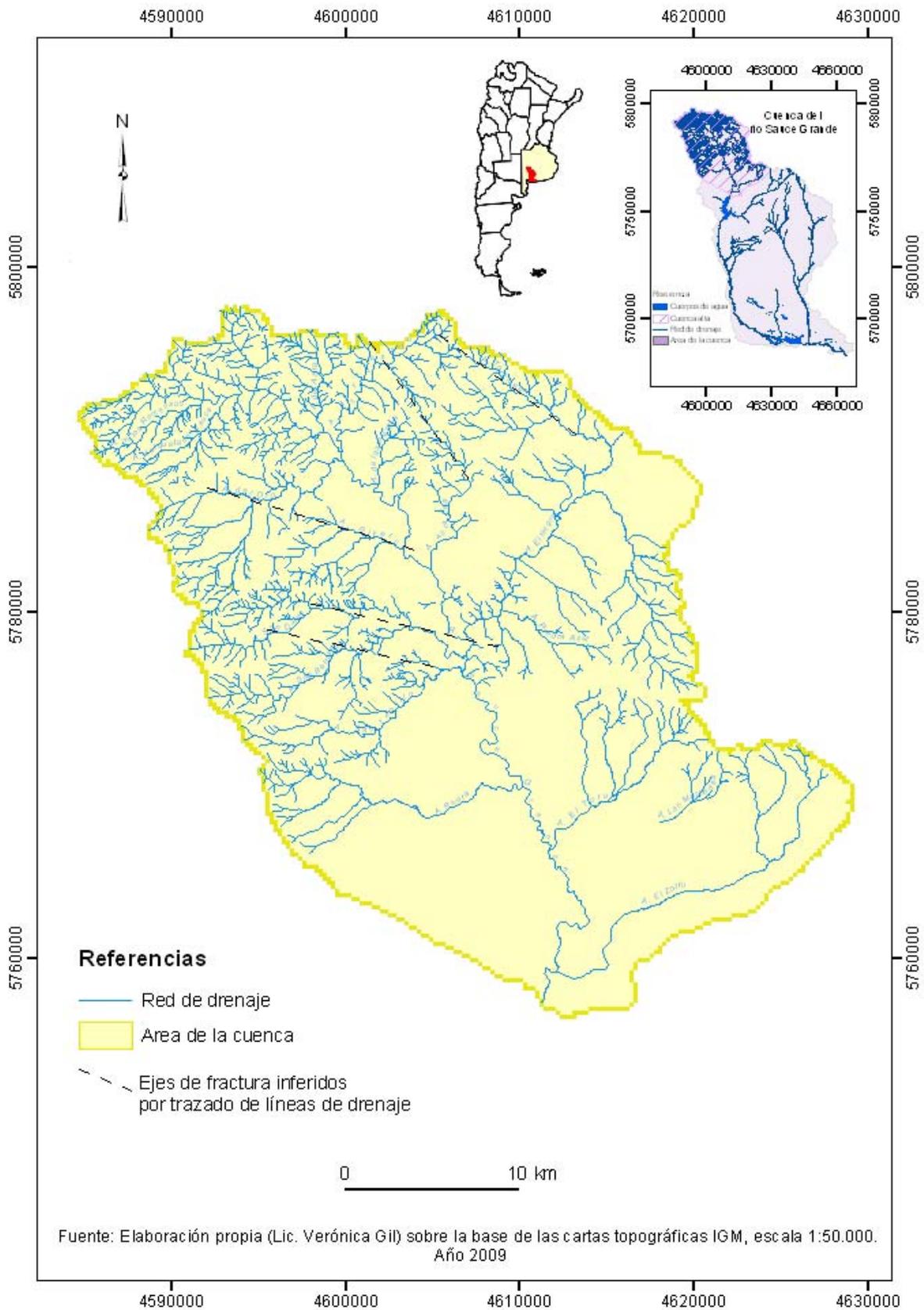


Figura 7.4. Red de drenaje de la cuenca alta del río Sauce Grande. Se observa en línea punteada posibles ejes de fractura, algunos coincidentes con eje de pliegues, que inciden en la dirección del escurrimiento.

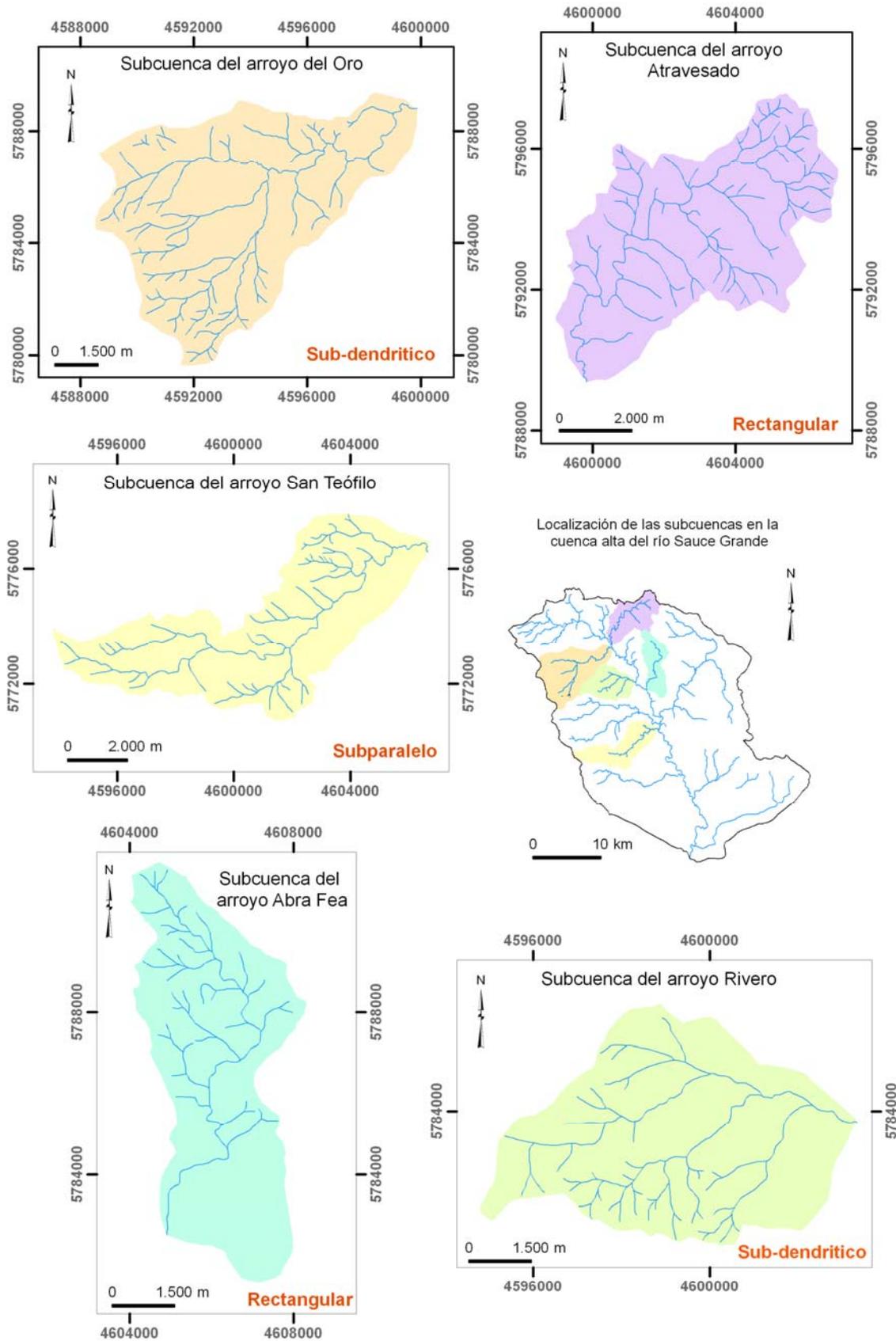
tipo rectangular donde depende claramente del control estructural del cordón Pillahuincó. Asimismo, la sub-cuenca San Teófilo, por ejemplo, presenta un tipo de drenaje subparalelo principalmente en el área de cabeceras, mientras que la sub-cuenca del Oro y Rivero son ejemplos de un trazado sub-dendrítica como la totalidad de la CASG. En la figura 7.5 se detallan algunos ejemplos antes mencionados. Asimismo, conjuntamente con estos tipos de drenaje se dan anomalías o desvíos locales del tipo general. Ejemplo de las mismas son la aparición brusca de meandros, ensanchamiento irregular de los valles, codos de captura, curvas y cambios irregulares de dirección.

7.2. Análisis de las subcuencas según las variables topológicas y de longitud

7.2.1. Relación de Bifurcación

Es la proporción existente entre el número de cauces de un orden dado, con los de orden inmediatamente superior (Strahler, 1964, basado en Horton 1945). Este enunciado lleva a Horton (1945) a explicar la ley de número de cursos, donde el número de cursos de los distintos órdenes en una cuenca dada tiende a aproximarse a una serie geométrica inversa, donde la unidad es el primer término y la razón es la de bifurcación. Este índice tiene relación con la forma y el comportamiento hidrológico de una cuenca, de tal manera que los valores bajos suelen corresponder a cuencas redondeadas, de menor pendiente por lo cual, en teoría, podrían darse las más bruscas crecidas, tras un tiempo de concentración largo causado por déficit de canales de drenaje. Por el contrario, altas relaciones de bifurcación indican áreas de fuertes pendientes con rápida concentración de la escorrentía, pero con picos de crecida poco importantes. En general, los valores cercanos a 2 revelan áreas de escaso relieve, valores entre 3 y 5 corresponden a áreas de montaña sin demasiado control estructural y valores superiores a 5 indican fuerte dependencia de la estructura.

Los valores medios de la Relación de Bifurcación obtenidos para las sub-cuencas se observan en la tabla 7.2. La mayor parte de las cuencas se ubican en el rango de 3 a 5 que corresponde a cuencas de montaña y sin demasiada dependencia estructural (Senciales González, 1999; Strahler, 1974). Las cuencas cercanas a 2 que son Las Mercedes, El Zorro y Rivero se desarrollan sobre menores pendientes y sedimentos cuaternarios. Por otro lado, la cuenca del Abra Fea es la que presenta el mayor valor siendo éste 6,33. El valor elevado puede corresponder a dos motivos: el primero es que la cuenca presenta orden 3, un bajo orden de jerarquía. Romero Diaz (1989) indica que a



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las cartas topográficas IGM, escala 1:50.000. Año 2009

Figura 7.5. Ejemplos de diseño de drenaje a nivel de subcuenca

medida que los órdenes de la cuenca disminuyen los valores de relación de bifurcación tienden a aumentar. El segundo motivo es que el curso principal drena paralelo a un contacto entre formaciones geológicas diferentes. Por lo cual esto generaría un aumento de la relación de bifurcación entre los órdenes 2 y 3 que alterarían el valor medio.

Variables de Topología y Longitud						
SUB-CUENCAS	Número de cursos por orden					Total Media
	Relación de Bifurcación					
	Orden					
	1	2	3	4	5	
Rivera	28	10	2	1		41
	2,8	5	2			3,27
San Teófilo	44	10	4	1		59
	4,4	2,5	4			3,63
San Bernardo	155	40	8	3	1	207
	3,88	5	2,67	3		3,64
Rivero	41	15	6	2	1	65
	2,73	2,5	3	2		2,56
del Oro	72	22	4	1		99
	3,27	5,5	4			4,26
Esmeralda	17	4	1			22
	4,25	4				4,13
Horqueta del Sauce	29	8	3	1		41
	3,22	3	3			3,07
de Los Remansos	31	7	2	1		41
	4,43	3,5	2			3,31
Nacimiento o Destierro Primero	57	13	4	1		75
	4,38	3,25	4			3,88
Mambaches	38	10	3	1		52
	3,8	3,33	3			3,38
del Abra	45	15	4	1		65
	3	3,75	4			3,58
Atravesado	68	20	7	1		96
	3,4	2,86	7			4,42
de Las Piedras	18	5	1			24
	3,6	5				4,3
Abra Fea	33	9	1			43
	3,67	9				6,33
El Negro	154	45	10	3	1	213
	3,42	4,5	3,33	3		3,56
El Toro	24	9	3	1		37
	2,67	3	3			3,89
Las Mercedes	11	5	2	1		19
	2,2	2,5	2			2,23
El Zorro	13	5	2	1		21
	2,6	2,5	2			2,37

Tabla 7.2. Relación de Bifurcación para las cuencas de estudio.

Una cuenca está bien jerarquizada cuando a lo largo de su trazado presenta relaciones de bifurcación homogéneas (Senciales González, 1999). Claro ejemplo de esto son las cuencas Horqueta del Sauce, Mambaches, El Zorro, Las Mercedes y Esmeralda. Por otro lado, se observan cambios bruscos entre órdenes consecutivos en la cuenca Rivera, San Bernardo, del Oro, de Las Piedras, Abra Fea y El Negro (Fig. 7.6). La mayor alteración en la dinámica hídrica se produce entre los cursos de orden 2 y 3, observándose aquí los mayores valores respecto a la media. Una causa posible de esta configuración se debe al cambio de litología. Por ejemplo, áreas de litologías permeables evacuan por escorrentía superficial menor cantidad de agua que las áreas impermeables, por lo tanto necesitan menor número de canales de drenaje para eliminar el exceso hídrico.

En el caso de las cuencas mencionadas, las que drenan la margen derecha del río Sauce Grande los valores altos de R_b se deben al cambio de litología entre Formación Lolén – sedimentos cuaternarios principalmente. Mientras que, las de la margen izquierda el cambio es de la Formación Sauce Grande a sedimentos cuaternarios, a excepción de la cuenca El Negro en la cual la anomalía en la relación de bifurcación indica el cambio entre la Formación Tunas y Formación Bonete respecto a los sedimentos cuaternarios. El resto de los valores se mantienen homogéneos y no se alejan mucho de la media. En el caso de la cuenca de El Atravesado la alteración en la R_b se observa entre el orden 3 y 4, mientras que en la cuenca Abra Fea la anomalía se da entre el orden 1 y 2. Por otra parte, estas dos cuencas son las que poseen mayor grado de control estructural según su diseño, por lo cual, se esperan estas variaciones en la relación de bifurcación entre ordenes sucesivos.

7.2.2. Relación de Longitud

De forma similar a la relación de bifurcación, se define la relación de longitud (R_l) como la proporción existente entre la longitud media de los segmentos de un orden dado y la de los segmentos del orden inmediato inferior (Horton, 1945). Así, la longitud media acumulada de los segmentos de órdenes sucesivos tiende a formar una progresión geométrica cuyo primer término es la longitud media de los segmentos de primer orden y tiene por razón una relación de longitud constante. De esta manera queda enunciada la ley de longitud de los cauces.

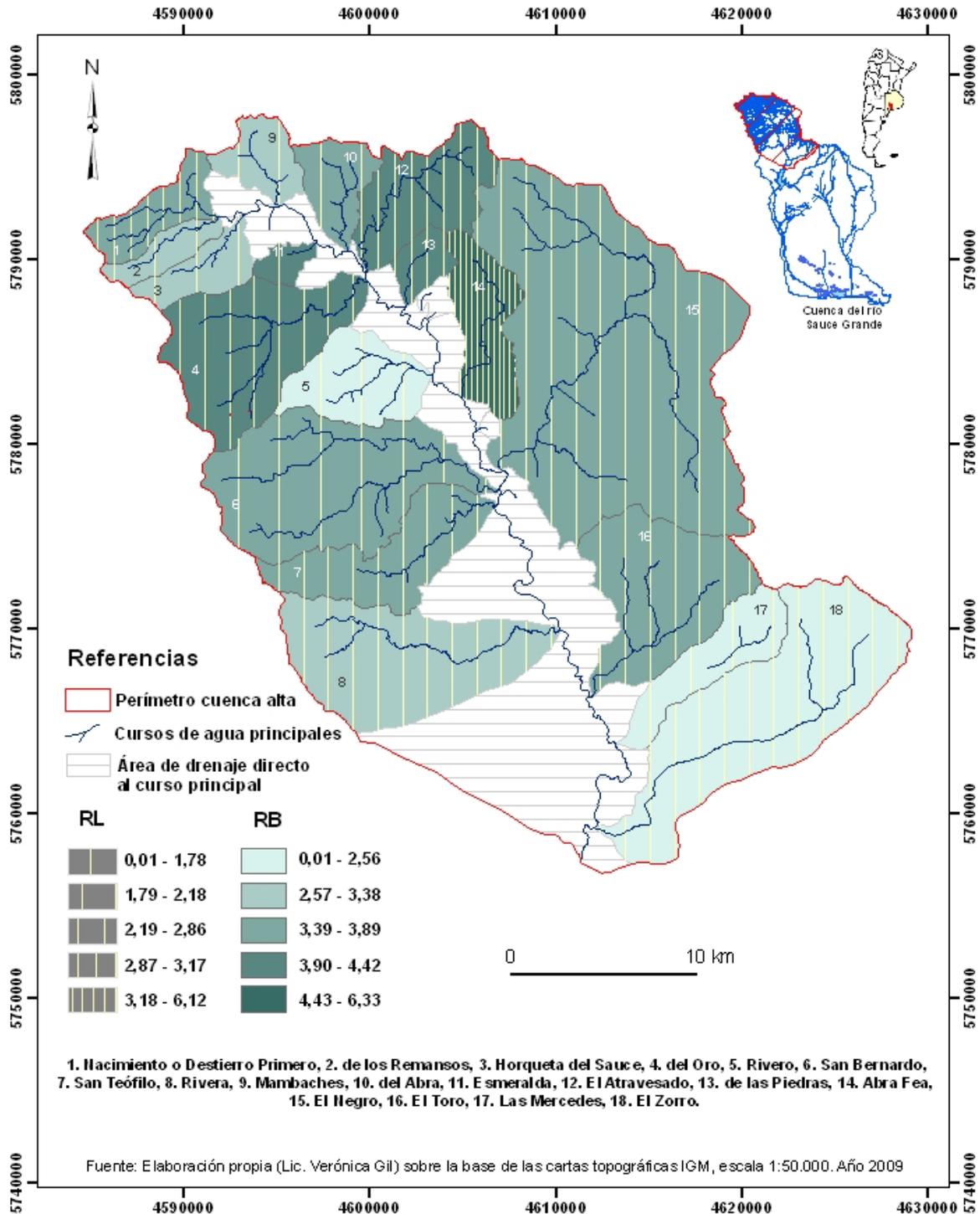


Figura 7.6. Relación de Bifurcación y Longitud para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande.

En general, los cauces con mayor longitud suelen estar ubicados en áreas de fuertes pendientes. No obstante, un segmento de gran longitud revela una elevada jerarquización, sea del orden que sea. A él llega un elevado número de cauces de orden

menor y éste evacua un gran volumen de agua hacia otro colector de orden superior, lo que puede implicar una alta diferencia en las relaciones de bifurcación (Senciales González, 1999).

En la tabla 7.3 se observan altos valores de R_i entre los órdenes 2 y 3 de las cuencas de Los Remansos (R_i : 4,08) Nacimiento o Destierro Primero (R_i : 6,54), de las Piedras (R_i : 4,69) y Abra Fea (R_i : 10,18). Mientras que para la cuenca San Bernardo (R_i : 5,55) y El Atravesado (R_i : 5,05) los valores altos de R_i se dan entre los órdenes 3 y 4 (Fig. 7.6). Los mismos remarcan las conclusiones obtenidas para los valores de R_b , donde el valor de la alteración se produce por los cambios de litología sumado a los cambios de pendientes que se producen entre las litologías resistentes y los sedimentos cuaternarios.

SUB-CUENCAS	Longitud media de los cursos por orden (km)					
	Relación de longitud					Media
	Orden					
	1	2	3	4	5	
Rivera	0,64	1,51	3,80	14,07		
		2,37	2,51	3,70		2,86
San Teófilo	1,38	1,92	1,43	7,93		
		1,39	0,74	5,55		2,56
San Bernardo	0,56	0,70	2,02	6,34	9,18	
		1,26	2,89	3,14	1,45	2,18
Rivero	0,44	0,80	1,54	2,15	2,48	
		1,81	1,92	1,40	1,15	1,57
del Oro	0,58	1,29	3,57	10,64		
		2,23	2,78	2,98		2,66
Esmeralda	0,49	0,96	1,86			
		2,00	1,93	1,00		1,96
Horqueta del Sauce	0,58	1,18	1,39	2,97		
		2,03	1,10	2,14		1,78
de Los Remansos	0,51	0,65	2,67	1,33		
		1,28	4,08	0,50		1,95
Nacimiento o Destierro Primero	0,47	0,38	2,48	5,32		
		0,81	6,54	2,14		3,17
Mambaches	0,58	0,89	1,00	3,84		
		1,55	1,12	3,84		2,17
del Abra	0,53	0,63	1,43	3,96		
		1,18	2,25	2,78		2,07
El Atravesado	0,53	0,85	2,44	12,30		
		1,62	2,86	5,05		3,17
de Las Piedras	0,55	0,83	3,88			
		1,50	4,69			3,10
Abra Fea	0,52	1,07	10,89			
		2,06	10,18			6,12
El Negro	0,74	1,31	2,27	5,76	22,38	
		1,77	1,73	2,54	3,89	2,48
El Toro	0,87	1,52	5,52	13,70		
		1,74	3,63	2,48		2,62
Las Mercedes	0,62	0,84	1,64	2,26		
		1,35	1,96	1,38		1,57
El Zorro	0,82	1,69	5,61	16,23		
		2,06	3,32	2,89		2,75

Tabla 7.3. Longitud media de los cursos por orden y relación de longitud para las diferentes cuencas.

Según Sala y Gay (1981), la existencia de distintos valores en la R_i entre segmentos de diferentes órdenes se interpreta como indicio de dos etapas erosivas en una misma cuenca. A su vez, altas R_i revelan una concentración paulatina de caudales a lo largo del colector principal, mientras que bajas relaciones muestran mayor energía concentrada bruscamente. Si se retoma al análisis de los valores medios de los R_i se podría decir que la mayoría de las cuencas ($R_i < 3$) poseen características torrenciales.

7.3. Análisis de las subcuencas según las variables de forma y tamaño

7.3.1. El área

El área de la cuenca es el parámetro de medición directa más destacado en el estudio de las cuencas, ya que cuantifica el tamaño de la cuenca y se utiliza en la elaboración de varios índices. Siguiendo el criterio de investigadores como Chow (1994) se pueden definir como cuencas pequeñas aquellas con áreas menores a 250 km², cuencas medias entre 250 y 2.500 km² y cuencas grandes las que poseen áreas mayores a los 2.500 km². El crecimiento del área actúa como un factor de compensación de modo que es más común detectar crecientes instantáneas y de respuesta inmediata en cuencas pequeñas que en cuencas grandes. De todas maneras el aporte de caudal al curso principal generalmente es mayor al aumentar la superficie drenada ya que puede coleccionar mayor cantidad de agua precipitada.

SUB-CUENCAS	Área (km ²)
Esmeralda	5,37
de Las Piedras	8,81
de Los Remansos	10,11
Horqueta del Sauce	14,76
Mambaches	14,79
del Abra	16,82
Nacimiento o Destierro Primero	17,93
Las Mercedes	25,62
Abra Fea	26,80
Rivero	29,36
Atravesado	35,24
San Teófilo	39,53
El Toro	57,56
del Oro	59,95
Rivera	69,92
San Bernardo	82,07
El Zorro	99,67
El Negro	206,48

Tabla 7.4. Cuencas ordenadas de menor a mayor superficie. Los colores indican el orden jerárquico correspondiente. Cian: orden 3, amarillo: orden 4 y naranja: orden 5

Si bien las cuencas analizadas poseen superficies menores a 250 km², entre las mismas existen diferencias de áreas que permiten la clasificación de cuencas con mayor posibilidad de crecidas instantáneas y de respuesta inmediata, entre ellas la de Los Remansos, Horqueta del Sauce, Mambaches, del Abra, Nacimiento o Destierro Primero. Asimismo, el aporte de caudales mayores se corresponde con las cuencas con mayor superficie. La cuenca del arroyo San Teófilo y El Negro son ejemplos de esto (Tabla 7.4 y Fig. 7.7)

7.3.2. Relación de elongación (R_e)

El cálculo de este índice es de gran interés ya que se relaciona con la forma de la cuenca. Fue elaborado por Schumm (1956) y consiste en la razón entre el diámetro de un círculo que posee la misma área que la cuenca y la longitud del cauce principal que la drena (Sala y Gay, 1981). Esta es la fórmula más extendida y de mayor uso ya que es la que mejor se correlaciona con la hidrología de la cuenca. Con frecuencia las cuencas con mayor elongación se desarrollan sobre litologías más resistentes o más impermeables. Los valores de R_e inferiores a 1, implican formas alargadas, o sea, cuando más alejado de 1 sea el valor mayor será la elongación.

Generalmente los índices bajos se corresponden con cuencas de montaña, escarpadas y alargadas. Por otra parte, las cuencas elongadas presentan un retardo en la concentración de la escorrentía a causa de la gran longitud del cauce principal y con ello mayor brusquedad de la crecida, una vez concentradas las aguas. Sin embargo, puede darse que el retardo teórico no se presenta en áreas con fuertes pendientes (Jardí, 1985; Senciales González, 1999).

SUB-CUENCAS	Relación de elongación
San Teófilo	0,407
El Atravesado	0,441
de Los Remansos	0,449
El Zorro	0,451
Abra Fea	0,493
San Bernardo	0,504
Horqueta del Sauce	0,516
del Oro	0,534
Rivera	0,541
El Negro	0,557
Nacimiento o Destierro Primero	0,571
de Las Piedras	0,608
Rivero	0,617
del Abra	0,647
El Toro	0,659
Esmeralda	0,682
Mambaches	0,697
Las Mercedes	0,895

Tabla 7.5. Relación de elongación para cada cuenca.

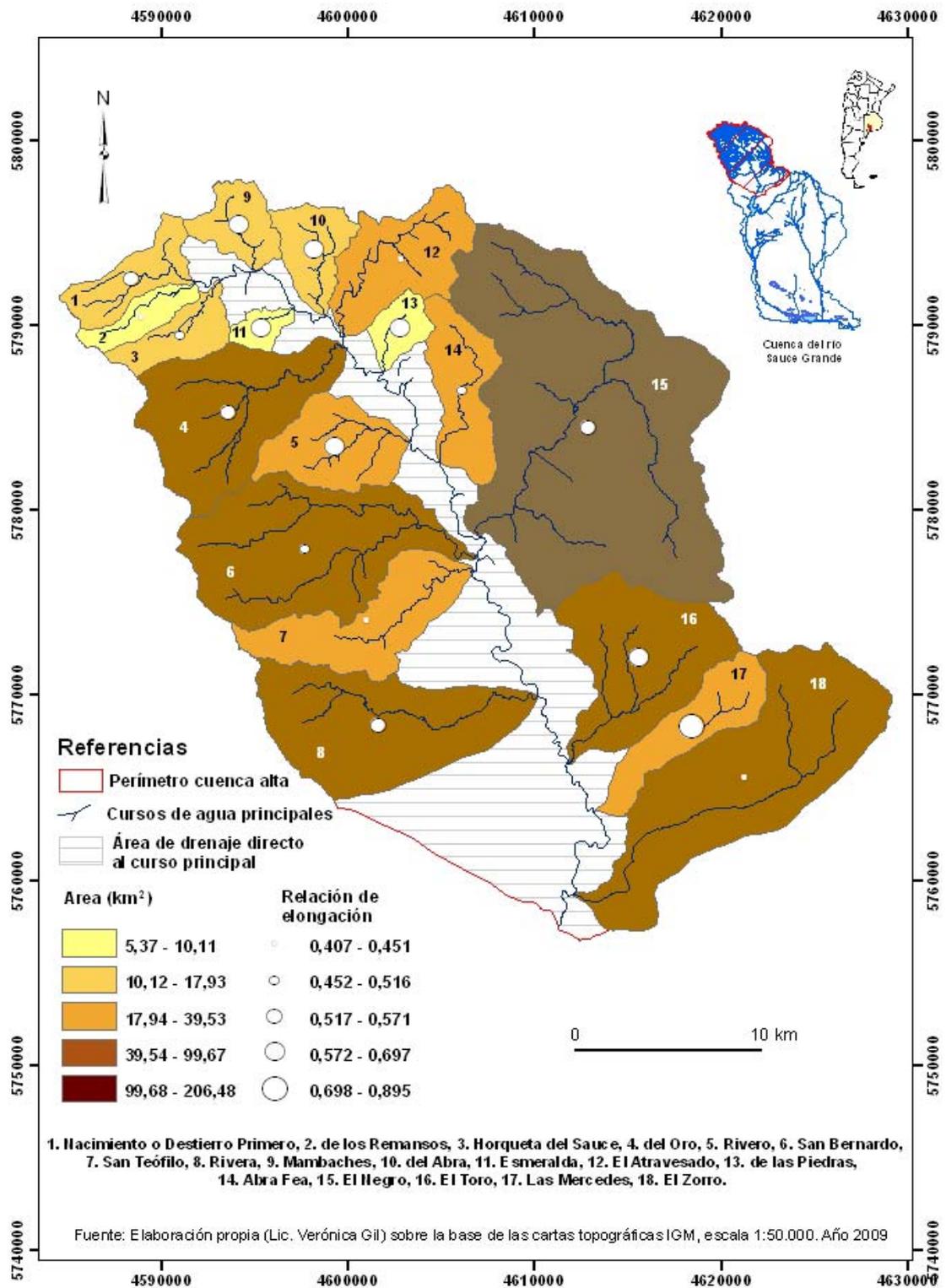


Figura 7.7. Relación de elongación y superficie para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande.

Los datos obtenidos para las subcuencas son menores a 1 (Fig. 7.7), lo cual indica formas alargadas; sin embargo, pueden apreciarse diferencias entre ellas, en especial si se comparan los valores más cercanos a 1 y los más alejados a él. En la tabla 7.5 se puede observar el número de elongación ordenado de mayor (menor valor) a menor (mayor valor).

Si se compara estos datos con los desniveles de la tabla 7.6 se puede inferir que, por ejemplo, la sub-cuenca de los Remansos (0,449) presenta un desnivel importante (690 m). Lo mismo sucede con la sub-cuenca San Bernardo ($Re=0,504$; $D=950m$). Caso contrario sucede con la sub-cuenca Las Mercedes ($Re=0,895$; $D=321m$). Se espera entonces que para cuencas alargadas y con fuertes desniveles la concentración de la escorrentía sea brusca.

7.4. Análisis de las subcuencas según las variables del relieve

El relieve en la cuenca de recepción (altitud, pendiente u orientación) condiciona la génesis y topología de las crecidas. Generalmente se lo considera como la tercera dimensión en una cuenca de drenaje y puede inducir a situaciones meteorológicas que favorezcan la precipitación así como la mayor concentración de las mismas a mayor altitud. Las variables del relieve aquí analizadas tienen influencia directa sobre el tipo de drenaje, la forma de los canales, las características de infiltración, procesos y formas de modelado, etc.

La importancia de la medición del relieve y las pendientes en relación con parámetros hidrológicos ha sido reconocida desde hace tiempo. Con un incremento del relieve, pendientes pronunciadas y altas pendientes de los cursos, el tiempo de concentración de la escorrentía decrece e incrementan los picos de crecida.

7.4.1. Desnivel y pendiente media del curso principal

Como se indica en la tabla 7.6 los mayores desniveles (los que se sitúan por encima de la media 495,72 m) los presentan la cuenca del arroyo El Negro, Rivera, Horqueta del Sauce, de Los Remansos, del Oro, Nacimiento o Destierro Primero, San Teófilo, San Bernardo. Salvo la cuenca del arroyo El Negro, las demás drenan las laderas Este del cordón de la Ventana que es el de mayor altura con alturas absolutas de 1.243 m sobre el

nivel medio del mar. La configuración morfológica genera mayores desniveles en el sector Oeste de la cuenca alta del río Sauce Grande.

SUB-CUENCAS	Variables de Relieve			
	Desnivel (cm)	Pendiente media del curso principal (%)	Razón de relieve	Relación del relieve
Rivero	225	2,27	0,01	0,01
Esmeralda	250	5,87	0,07	0,02
Mambaches	250	4,01	0,04	0,01
de Las Piedras	300	4,99	0,06	0,02
del Abra	321	3,08	0,03	0,01
Las Mercedes	360	3,45	0,05	0,01
Abra Fea	375	2,74	0,03	0,01
El Toro	400	3,38	0,03	0,01
El Zorro	400	1,36	0,02	0,01
El Atravesado	452	2,86	0,03	0,01
El Negro	502	1,41	0,02	0,01
Rivera	575	2,7	0,04	0,01
Horqueta del Sauce	625	6,84	0,08	0,03
de Los Remansos	690	8,13	0,09	0,04
del Oro	700	4,27	0,05	0,02
Nacimiento o Destierro Primero	773	7,76	0,11	0,03
San Teófilo	775	4,15	0,05	0,02
San Bernardo	950	4,68	0,03	0,02

Tabla 7.6. Valores de desnivel, pendiente media del curso principal, razón de relieve y relación del relieve para cada subcuenca analizada.

La pendiente media del curso principal es de gran importancia ya que incide directamente en la velocidad de un caudal a lo largo del cauce, condiciona su energía cinética y de esta manera su potencia erosiva (Senciales González, 1999). Los cursos de mayor pendiente son de Los Remansos (8,13 %), Nacimiento o Destierro Primero (7,76 %) Horqueta del Sauce (6,84 %). Estos se encuentran ubicados en el sector Oeste de la cuenca y drenan laderas con roca resistente y coinciden con los mayores desniveles (Fig. 7.8). Estos 3 cursos constituyen el nacimiento del río Sauce Grande. El curso principal de Esmeralda (5,87 %) posee una pendiente mayor que otros cursos con igual o mayor desnivel. Esto se debe a que la longitud del curso principal es menor. Lo cual implica que recorre menor distancia al cambiar de altura. Así, le siguen de las Piedras (4,99 %), San

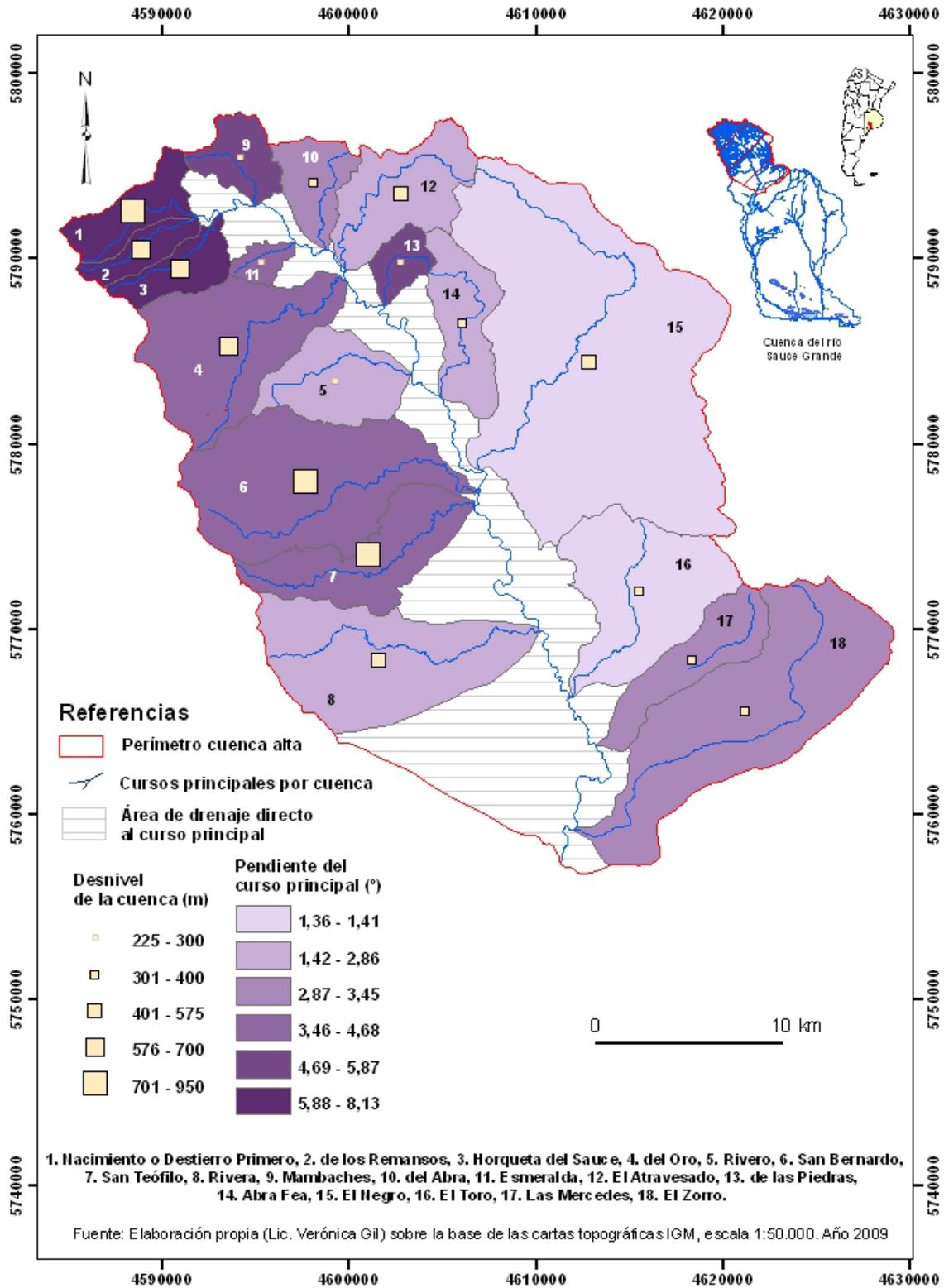


Figura 7.8. Desnivel de la cuenca y pendiente media del curso principal para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande.

Bernardo (4,68 %), San Teófilo (4,15 %) y Mambaches (4,01 %). En el caso del San Bernardo y San Teófilo la morfología de la cuenca condiciona las pendientes del curso ya que en los primeros metros de recorrido del curso posee fuertes pendientes, mientras que un porcentaje mayor lo hace sobre menores pendientes.

7.4.2. Determinación de las pendientes medias

La pendiente media de una cuenca es un factor importante para el análisis del efecto que tiene sobre el agua que cae, su velocidad y la erosión que esta produce. El cálculo de la misma se realizó con la extensión *Spatial Analyst* del ArcGIS 9.1. La función *Slope* (pendiente) examina el desnivel que existe entre cada celda y las ocho más próximas de un archivo raster, por lo tanto la pendiente es calculada como la máxima tasa de cambio de la elevación por unidad de distancia para cada una de las subcuencas (Fernández García, 2007). Los valores de la pendiente media se obtuvieron en grados y se calculó para cada subcuenca la máxima, mínima, el valor medio y el desvío estándar (Tabla 7.7). En la figura 7.9 se observan las pendientes medias para cada subcuenca.

Sub-Cuencas	Pendiente en grados			
	Máx	Mín	Media	Des. Est.
Nacimiento o Destierro Primero	43,79	0	8,75	9,54
Mambaches	55,81	0	8,17	6,01
del Abra	31,9	0	5,77	5,39
El Atravesado	40,31	0	7,89	7,34
de las Piedras	39,31	0	9,08	8,66
Abra Fea	62,8	0	6,34	6,66
El Negro	58,46	0	3,95	5,47
El Toro	49,67	0	4,58	5,78
Las Mercedes	32,21	0	2,73	3,82
El Zorro	28	0	2,12	3,74
Rivera	45,78	0	4,63	7,46
San Teófilo	44,38	0	6,16	7,61
San Bernardo	49,1	0	8,47	10,41
Rivero	29,86	0	3,48	4,47
del Oro	48,62	0	7,17	8,6
Esmeralda	30,82	0	6,33	6,03
Horqueta del Sauce	43,02	0	6,18	7,63
de los Remansos	61,89	0	8,42	11,13

Tabla 7.7. Valores de pendiente media para cada subcuenca

Cabe aclarar, que las pendientes en algunas de las subcuencas analizadas (de los Remansos, San Bernardo, Nacimiento o Destierro Primero, del Oro, de las Piedras) presentan desvíos del valor medio considerables. En el caso de las cuencas estudiadas

los valores mayores de desvío corresponden a sectores serranos ubicados en las cabeceras de las mismas donde se realiza un cambio brusco de pendiente cuando se pasa al sector de piedemonte (Fig. 7.10). De esta manera se puede decir, que tanto los valores de pendiente del curso principal (apartado anterior) como los valores de pendiente de la cuenca deben ser considerados teniendo en cuenta los cambios en la morfología. Como valores numéricos aislados de la configuración morfológica, pueden inducir a errores.

Las mayores pendientes medias las presentan la cuenca de las Piedras (9,08 °), Nacimiento o Destierro Primero (8,75 °), Mambaches (8,17 °), El Atravesado (7,89 °) y San Bernardo (7,17 °). El resto de las subcuencas presentan valores por debajo de 7 °. Estas subcuencas poseen también las mayores pendientes del curso principal. La combinación de estas variables permite inferir capacidad de estas cuencas de generar escurrimientos veloces y picos de crecida elevados.

7.4.3. Razón del Relieve y Relación de Relieve

La Razón de Relieve (Rr) propuesto por Schumm (1956), es la relación que existe entre el desnivel de la cuenca y la longitud máxima de la misma. La importancia de esta razón según Sala y Gay (1981) es que tiene una relación directa con la pérdida anual de sedimento. Así, una alta razón de relieve implica una posible mayor velocidad del caudal y, con esto, una mayor capacidad erosiva. Para complementar el análisis existe otro índice, la relación de relieve (R) propuesto por Melton (1957). El uso conjunto es importante según Senciales González (1999) ya que la Rr hace posible conocer la existencia de áreas locales con elevada velocidad de caudales y la R considera la presencia de fuertes velocidades de caudales generalizadas, debidas a la pendiente de la cuenca.

Al analizar los datos obtenidos para las cuencas estudiadas se observa que las cuencas de Horqueta del Sauce (Rr: 0,08; R: 0,03), de los Remansos (Rr: 0,09; R: 0,04) y Nacimiento o Destierro Primero (Rr: 0,11; R:0,03) son los que poseen los mayores valores de ambos índices. Le siguen en orden la cuenca del arroyo del Oro (Rr: 0,05; R: 0,02) y San Teófilo (Rr: 0,05; R: 0,02). Estos valores sumados a los mayores desniveles y fuertes pendientes de los cursos principales hacen que se espere una respuesta hidrológica rápida ante eventos de precipitaciones torrenciales. Esta respuesta está

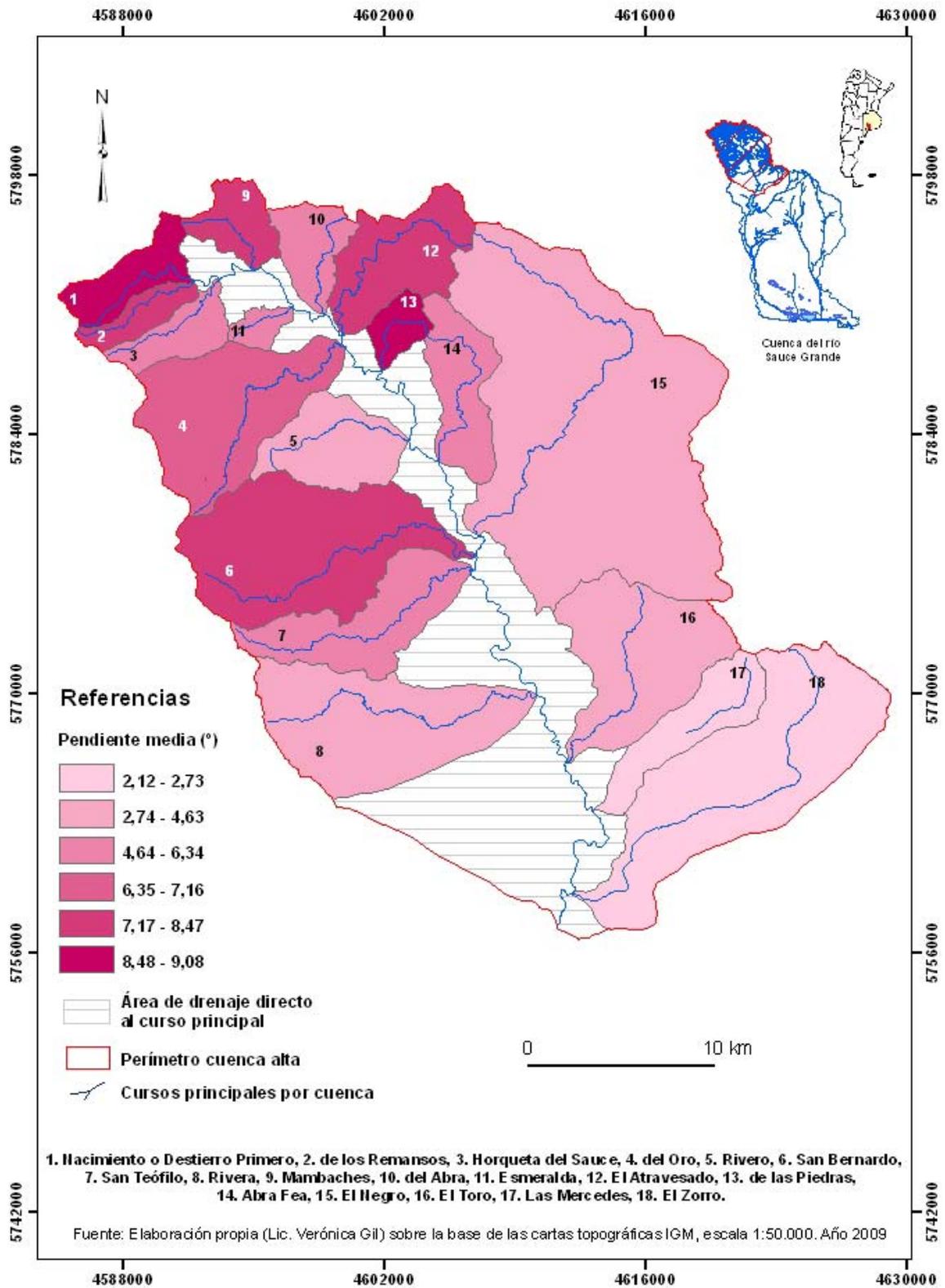
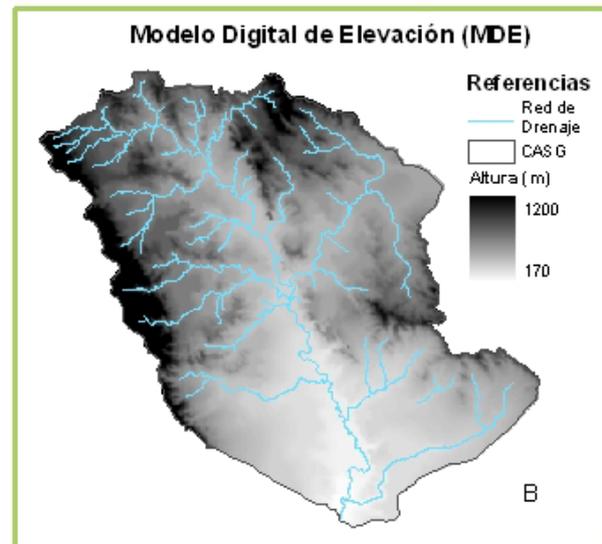
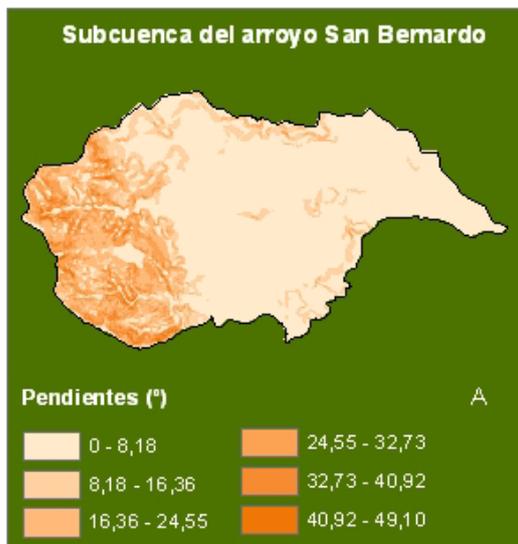
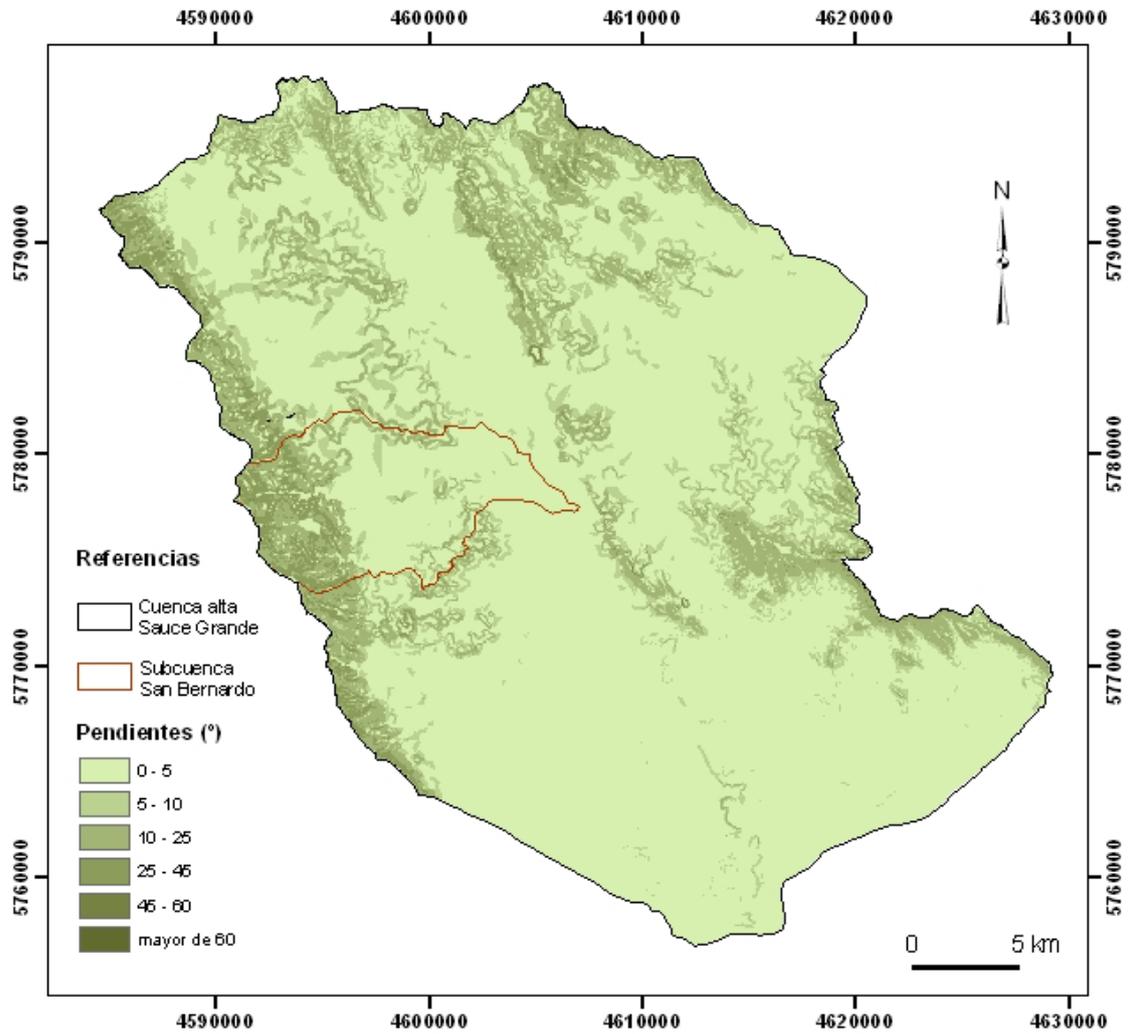


Figura 7.9. Pendientes medias para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande.



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las cartas topográficas IGM, escala 1:50.000. Año 2009

Figura 7.10. Mapa de pendientes de la cuenca alta del río Sauce Grande.
(A) Una de las subcuencas con mayor desvío estandar.
(B) MDE a partir del cual se realizó el mapa de pendientes.

caracterizada por la concentración de escurrimiento en un lapso breve de tiempo y un incremento en los picos de crecidas en el curso principal.

7.5. Análisis de las subcuencas según las variables de intensidad fluvial

7.5.1. Índice de frecuencia

El índice de frecuencia (I_f) relaciona el número de cauces de primer orden con el área de la cuenca, se considera de utilidad para áreas de alta bifurcación donde el número de los cauces es muy elevado. De esta manera, señala la intensidad de los procesos iniciales de arroyada concentrada (Senciales González, 1999). De las cuencas objeto de estudio las de mayor I_f son Nacimiento o Destierro Primero (3,18), Esmeralda (3,17), de los Remansos (3,07).

Si bien se puede determinar mediante este índice cuáles son las cuencas que presentan mayores procesos de arroyada concentrada en sus cabeceras, se debe realizar su análisis conjuntamente con la densidad de drenaje (D_d).

7.5.2. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje (D_d) es otra de las propiedades de mayor relevancia en una cuenca. La misma controla la eficiencia de drenaje y señala el estado erosivo (Senciales González, 1999; González de Matuco, 2004). Es un índice controlado por la litología presente, por la facilidad con la que se infiltra el agua de lluvia bajo la superficie del terreno hasta alcanzar el nivel freático y por la presencia o ausencia de cobertura vegetal, factores de control de la producción de agua y sedimentos en la cuenca (Strahler, 1974; López Bermúdez *et al.*, 1988).

Para las áreas analizadas, la cobertura vegetal es similar y está caracterizada por comunidades vegetales como la *Stipa caudata*, *Sipa ambigua*, *Discaria longispina*, *Eryngium eburneum* y gramíneas endémicas como la *Festuca ventanícola*, *Festuca pampeana* entre otras. Se consideró por lo tanto como parámetro más influyente en la densidad de drenaje la variación litológica (Gil *et al.*, 2009).

Los valores de densidad de drenaje obtenidos en las distintas cuencas analizadas van desde 0,47 km/km² (cuenca El Zorro) a 2,68 km/km² (cuenca de Los Remansos). Las diferencias se observan (Tabla 7.8 y Fig. 7.11) Estos valores son considerados como baja densidad de drenaje y textura gruesa por Gregory y Wallings (1973), Morisawa (1985), Senciales González (1999) y Marchetti (2000). Los valores bajos están asociados a zonas de gran masividad litológica, así como a materiales muy permeables y con alta infiltración. Para las cuencas de Rivera (0,78 km/km²), Las Mercedes (0,64 km/km²) y el Zorro (0,47 km/km²) los valores bajos están relacionados con el escurrimiento de la cuenca sobre terrenos permeables y con alta infiltración.

SUB-CUENCAS	Variables de Intensidad Fluvial				
	Coef. de almacenam. (Ca)	Densidad de drenaje (Dd) (km/km ²)	Coef. de torrenc. (Ct)	Indice de frec. (If)	Cte. de mantenim. del curso (Cm) (km ² km)
El Zorro	1,16	0,47	0,06	0,13	2,14
El Toro	0,91	1,13	0,47	0,42	0,89
Rivera	0,88	0,78	0,46	0,59	1,28
El Negro	0,7	1,14	0,86	0,75	0,88
del Oro	0,62	1,58	1,20	0,76	0,63
Las Mercedes	0,7	0,64	0,60	0,94	0,43
San Teófilo	0,71	2,37	2,63	1,11	0,42
Abra Fea	0,97	1,41	1,73	1,23	0,71
Rivero	0,61	1,57	2,20	1,4	0,64
San Bernardo	0,6	1,93	3,65	1,89	0,52
El Atravesado	0,72	2,34	4,52	1,93	0,43
Horqueta del Sauce	0,58	2,34	4,59	1,96	0,43
de Las Piedras	0,72	2,03	4,14	2,04	0,49
Mambaches	0,64	2,54	6,53	2,57	0,39
del Abra	0,58	2,57	6,86	2,67	0,39
de Los Remansos	0,59	2,68	8,23	3,07	0,37
Esmeralda	0,47	2,61	8,27	3,17	0,38
Nacimiento Destierro Primero	0,82	2,61	8,30	3,18	0,38

Tabla 7.8. Variables de intensidad fluvial para cada subcuenca de análisis.

Las diferencias litológicas enunciadas en el capítulo 3 explican la variación del parámetro en las distintas cuencas, hecho que corrobora los resultados obtenidos por

Rabassa (1982). El mismo establece valores de densidad de drenaje medios para cada litología (ejemplo: Fm. Lolén 4,73, Cenozoico exclusivamente 2,17 y Depósitos pedemontanos 1,84). Asimismo correlaciona la influencia del porcentaje de roca base aflorante y Cenozoico con la densidad de drenaje, hecho que se verifica en las cuencas analizadas. En las mismas, las pequeñas variaciones en este parámetro, se deben a la mayor o menor presencia de determinadas formaciones, porosidad secundaria de las mismas y la pendiente.

Por otra parte, las densidades de drenaje mayores muestran una red mejor organizada y por lo tanto presenta respuestas más veloces ante precipitaciones torrenciales. Tal es el caso de la sub-cuenca de los Remansos (2,61 km/km²), Nacimiento o Destierro Primero (2,61km/km²) y Esmeralda (2,61km/km²).

7.5.3. Coeficiente de almacenamiento, índice de torrencialidad y constante de mantenimiento

Estos índices fueron calculados para complementar el análisis de la densidad de drenaje realizada anteriormente. Así, el coeficiente de almacenamiento permite evaluar la capacidad de almacenamiento de la cuenca durante las crecidas de caudal por lluvias. Cuando los valores tienden a la unidad, el agua precipitada tiende a ser almacenada en forma subterránea, por lo tanto habrá menor riesgo de erosión hídrica y menor disponibilidad de agua para la escorrentía superficial. En cambio, si los valores se alejan de la unidad aumenta el riesgo de erosión y la escorrentía superficial. Esto implica que ante crecidas importantes de caudal generadas por eventos de lluvias torrenciales la cuenca alcance con mayor rapidez el "caudal pico" en su desembocadura (Gil *et al.*, 2009). En general, para las cuencas analizadas, los valores menores del parámetro se dan en la sub-cuenca Esmeralda (0,47), del Abra (0,58), Horqueta del Sauce (0,58) y de los Remansos (0,59).

Por su parte, el coeficiente de torrencialidad (Ct) que multiplica la Dd y el If permite obtener una aproximación al estudio de máximas crecidas ya que está relacionado con la capacidad de descarga de una cuenca (Senciales González, 1999). Existe una clara correlación entre la densidad de drenaje y este coeficiente, por lo cual se puede afirmar que a mayor Dd, mayor será la torrencialidad de la cuenca (Fig. 7.11). Asimismo, a mayor

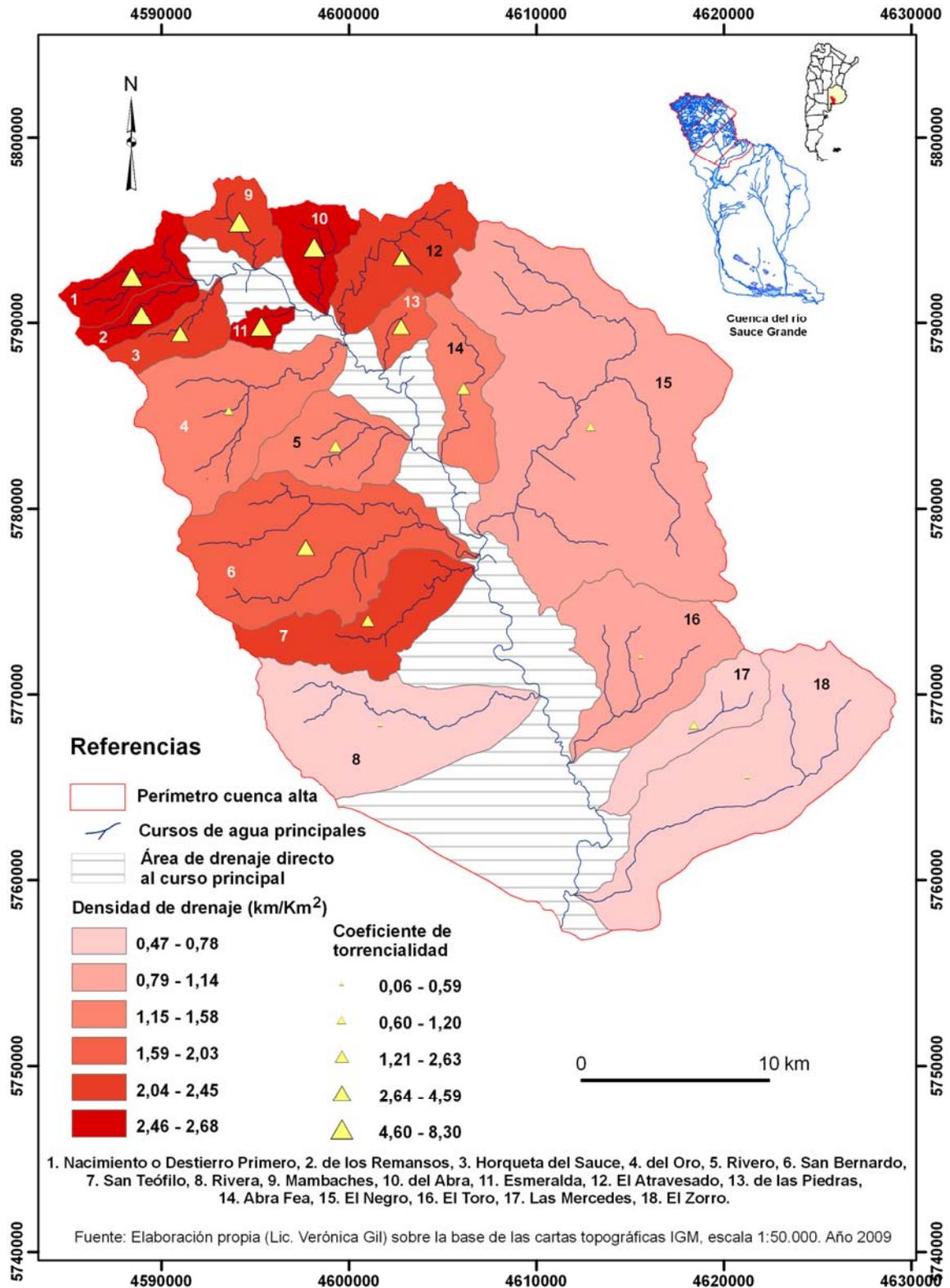


Figura 7.11. Densidad de drenaje y coeficiente de torrencialidad para las subcuencas principales de la cuenca alta del río Sauce Grande.

cantidad de cursos de primer orden y menor superficie de la cuenca mayor será este valor.

Según Senciales González (1999) la constante de mantenimiento del curso (C_m) establece el valor mínimo probable de las longitudes de los segmentos de primer orden. Puede también considerarse como una medida de erosionabilidad de una cuenca (Romero Díaz, 1989). En general cuando las longitudes de los cauces son altas la densidad de drenaje es baja, como por ejemplo la sub-cuenca de El Zorro ($C_m=2,14 \text{ km}^2/\text{km}$) y Rivera ($C_m=1,28 \text{ km}^2/\text{km}$). Por otra parte, las sub-cuencas de los Remansos, Mambaches, Destierro Primero, del Abra y Esmeralda son las que necesitan menos superficie para formar una unidad de canal, lo cual implicaría una mayor rapidez en el flujo.

A modo de síntesis, luego del análisis morfométrico realizado, se puede apreciar que las subcuencas Nacimiento o Destierro Primero, Horqueta del Sauce, El Atravesado, del Oro, San Bernardo y El Negro son las cuencas que presentan mayor peligrosidad ante eventos de precipitaciones extremas. Si las precipitaciones se producen en toda la cuenca con intensidad semejante, las mismas sumadas al resto de las subcuencas analizadas, actúan casi de manera conjunta y esto contribuye a la generación de crecidas en el río Sauce Grande. Mientras que si las precipitaciones se suceden en forma aislada en algunos sectores de la cuenca el comportamiento de cada una contribuye sólo a un aumento del caudal que es evacuado por el sistema sin generar crecidas que traspasen a la llanura de inundación.

PARTE 4

En esta parte se abordan las características geomorfológicas e hidrogeomorfológicas de la cuenca alta del río Sauce Grande y se espacializa el análisis a partir de la generación de cartografía temática básica y aplicada. En algunos casos se realizan cambios de escala para realizar análisis detallados de geoformas y procesos.

Se realiza un último cambio de escala para aplicar lo analizado en capítulos anteriores. Se abordan los conceptos de exposición y peligro de crecida de la localidad de Sierra de la Ventana. La misma se eligió debido a que fue la que experimentó dos crecidas extraordinarias del río Sauce Grande y fue la más afectada por ambas, asimismo en estos últimos años experimentó un aumento importante de la población lo cual aumenta el grado de exposición al peligro.

Se exponen las conclusiones generadas a través del estudio de la hidrogeomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande aplicada al peligro de crecidas.

CAPITULO 8

GEOMORFOLGÍA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE

La geomorfología, como todas las ramas de la geografía, tiene su forma de expresión gráfica el mapa geomorfológico. Estos son muy importantes para la planificación del espacio, contiene una información directamente aplicable a numerosos aspectos de la actividad humana sobre el medio físico y a nivel práctico constituyen un documento básico que puede ser reelaborado en determinados aspectos y en función de necesidades concretas de aplicación (mapa hidrogeomorfológico, de inestabilidad, entre otros). Se trata de una interpretación subjetiva del paisaje y representa de forma sintética las formas de relieve de una región (Peña Mone, 1997). Uno de los aspectos relevantes del mapa geomorfológico es que permite la reelaboración de cartografía existente y la homogeneización de datos para sectores donde se carece de información. Por todo ello, la elaboración de mapa geomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande pretende destacar gráficamente características morfográficas, morfométricas, morfoestructurales y morfodinámicas. Si bien existe un orden cronológico el mismo es relativo debido a la carencia de dataciones relacionadas a la edad de la forma y no del material que la compone.

8.1. Geomorfología de la cuenca alta del río Sauce Grande

La cuenca alta del río Sauce Grande presenta morfologías propias de un relieve plegado donde la terminología empleada en este caso hace referencia al modelado fluvial pero condicionado por la estructura que, hasta cierto punto, dirige la morfogénesis. Las rocas metamórficas que componen el macizo antiguo actúan ante los agentes de modelado como rocas cristalinas. Por lo cual muchas de las geoformas encontradas son descritas por diferentes autores para rocas ígneas principalmente (Pedraza Gilsanz, 1996; Vidal Romaní y Twidale, 1998; Gutiérrez Elorza, 2002). Por otra parte, el modelado fluvial y de ladera es el que predomina en toda la cuenca ([Fig. 8.1](#)).

8.1.1. Formas estructurales

8.1.1.1 Macizo antiguo

En el sector Oeste de la cuenca afloran rocas pertenecientes al Grupo Ventana o II Ciclo sedimentario (ver capítulo 3) las cuales integran la Sierra de la Ventana. En los

sectores que superan los 500 m (\pm 30 m) afloran las areniscas cuarcíticas de la Formación Providencia y Napostá.

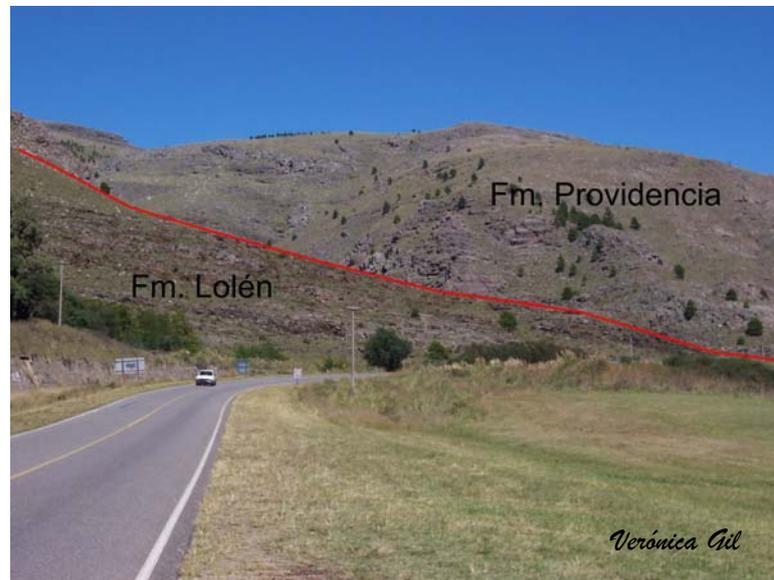


Figura 8.2. Posición topográfica de la Formación Providencia y Formación Lolén. Cordón Sierra de la Ventana.

Por debajo de esta altura e intercalado con los depósitos aluviales aflora la Formación Lolén (Fig. 8.2). La misma constituye el sector de piedemonte occidental al Norte - Centro de la cuenca mientras que en la parte Sur es cubierta por depósitos aluviales. En el sector Oriental de la cuenca aflora el Grupo Pillahuincó ó III Ciclo compuesto sedimentario (Fig. 8.3), afectado también por plegamiento y compuesto por diamictitas, conglomerados, pelitas, esquistos, pizarras y areniscas según la formación que se considere (ver capítulo 3) (Fig. 8.1.a)

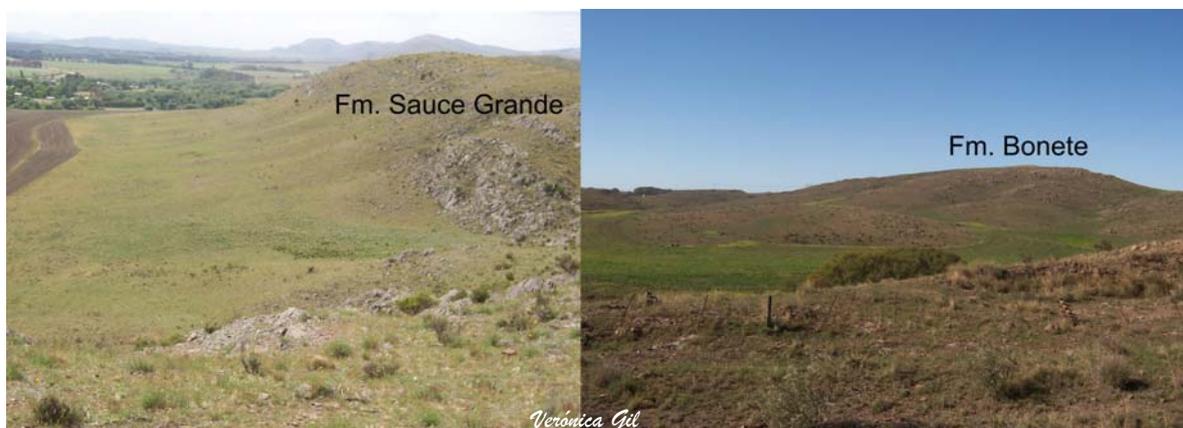


Figura 8.3. Formación Sauce Grande y Bonete en dos sectores del Este de la cuenca del río Sauce Grande en el cordón Pillahuincó.

Von Gosen *et al.* (1991) considera al sistema como una faja plegada y corrida con importantes falla inversas subaflorantes paralelas al rumbo de las sierras. Las estructuras que predominan son los pliegues (de varios órdenes) los cuales poseen características diferentes según el Grupo estratigráfico que se considere. Así, se encuentran fracturas de pequeño rechazo y roturas de charnela ligadas al plegamiento, ejes anticlinales y sinclinales, fracturas, red de diaclasas (Fig. 8.4).



Figura 8.4. Ejemplo de pliegues (anticlinales – sinclinales) y roturas de charnelas que conforman cavidades (circulo rojo).

8.1.1.2. Hogback y crestas

Estas geoformas son descritas por muchos autores, entre ellos, Derruau, 1970; Viers, 1983; Pedraza Gilsanz, 1999; Panizza, 2002 para relieves monoclinales principalmente. Se le asignan, según el buzamiento del estrato, los términos de cuesta, cresta, hogback y barra. Pedraza Gilsanz (1999) explica la formación de crestas (con diferentes grados de inclinación) como un resalte formado por una capa dura en un relieve plegado basado en las montañas del Jurá.

En el caso del área de estudio la formación de los hogback y las crestas está relacionada con el ángulo de inclinación de los bancos que forman los flancos de los pliegues y con la erosión diferencial de los mismos. Por ejemplo, en el caso de la Formación Providencia el ángulo medio de inclinación de los estratos es de 30° mientras que para la Formación Lolén el ángulo es de 18° (Tomezzoli y Cristalini, 2004). Por lo tanto en los sectores de la sierra donde aflora la Formación Providencia se encuentran hogback y donde aflora la Formación Lolén predominan las crestas (Fig. 8.5).

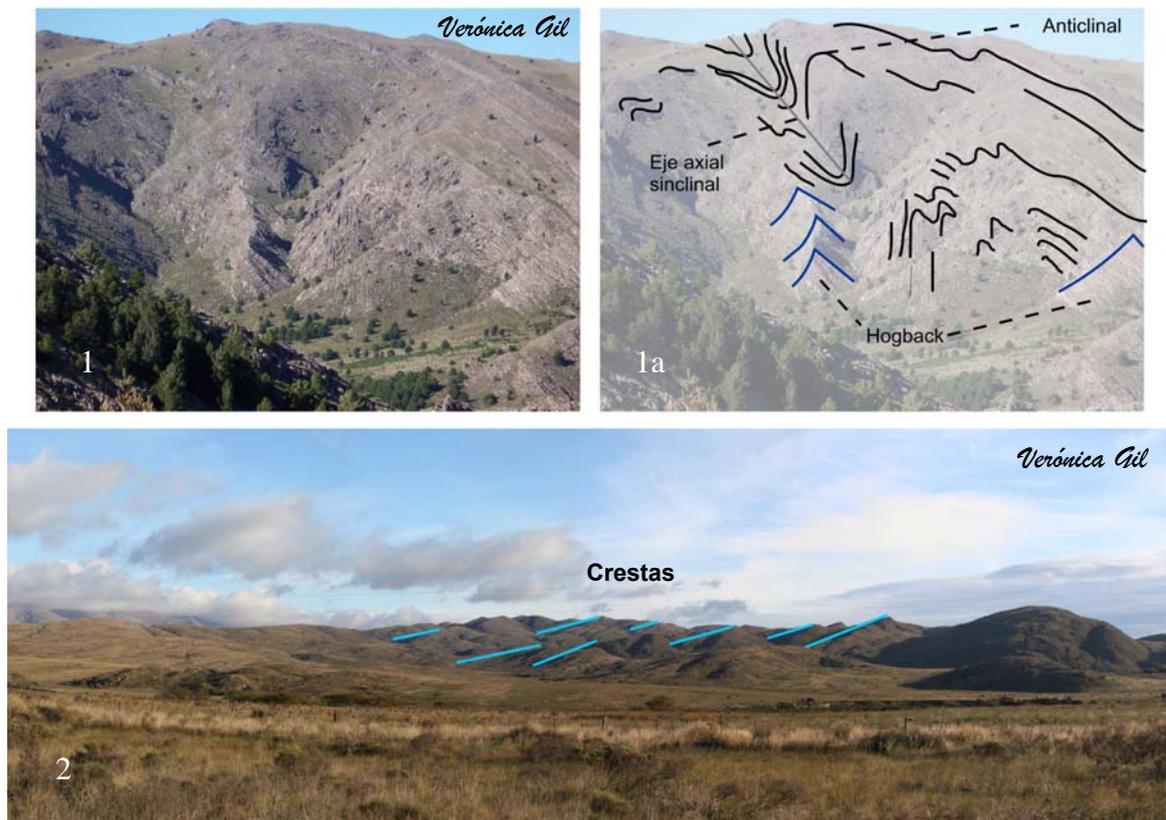
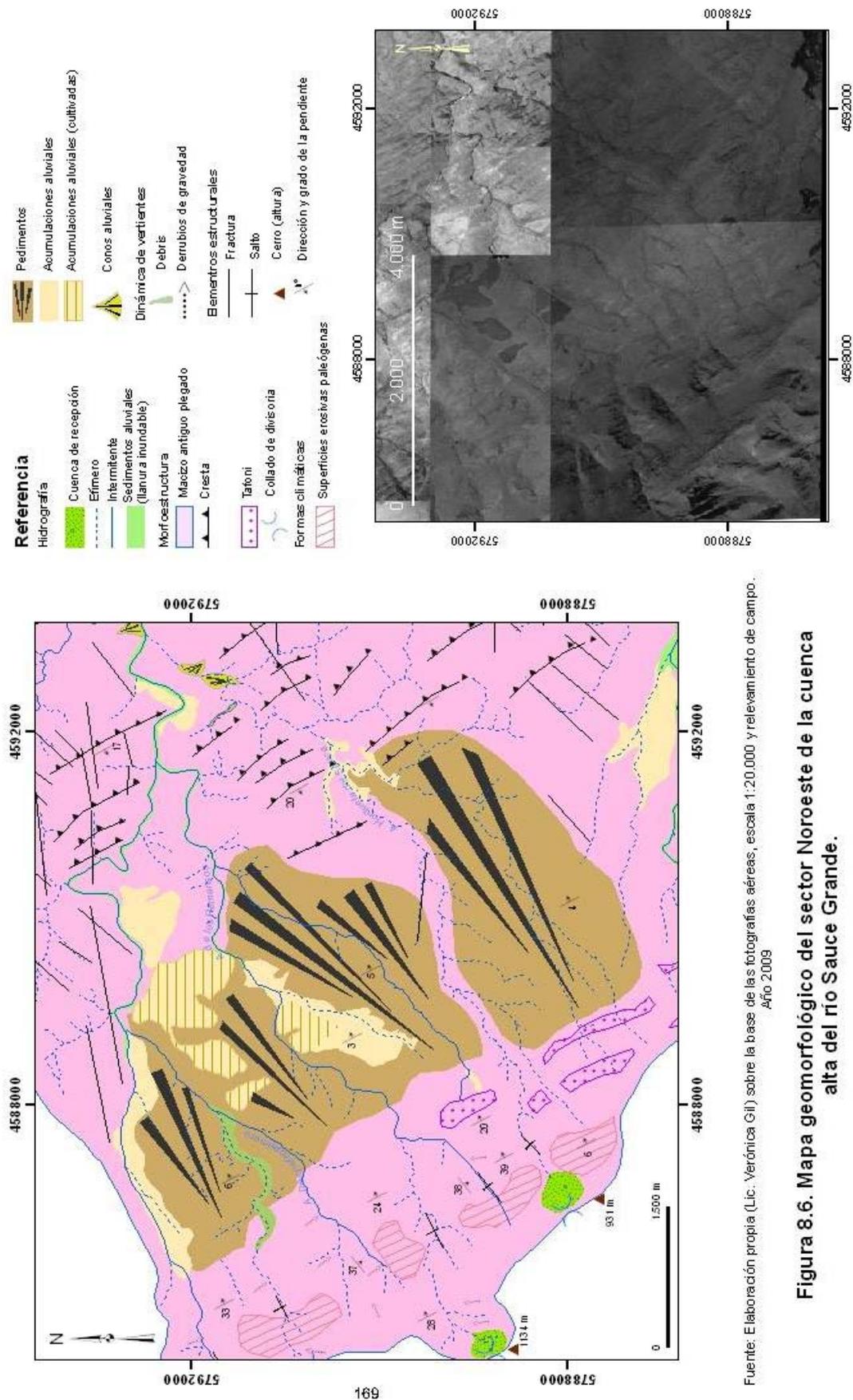


Figura 8.5. Ejemplos de hogback y crestas en el cordón de Sierra de la Ventana. Las mismas proceden de la erosión diferencial de los flancos de los pliegues de la Formación Providencia (1), Formación Lolén (2). En 1 a se observan además, ejes axiales de los sinclinales y anticlinales

8.1.1.3. Clusé y collado de divisoria de agua

Las sierras se encuentran disectadas por valles transversales a la estructura plegada, que morfológicamente corresponde a la denominación de clusé. La formación del clusé es producto de encajamientos fluviales atravesando una estructura anticlinal o a una asociación de pliegues. Primeramente estos cursos fluviales fueron encajamientos incipientes denominados ruz. En algunos casos esta morfología coincide con lo que localmente toma el nombre de “abra”. Un ejemplo de esto en la cuenca, es el abra de la Ventana localizada en el sector Noroeste sobre el cordón de Sierra de la Ventana.

Por otra parte, los collados están indicando la superficie de separación entre dos cuencas de recepción que drenan sus aguas en sentido opuesto. Esta superficie es estrecha y su evolución, por erosión retrocedente de los curso de agua, puede conducir en este caso a capturas fluviales entre cuencas (Fig. 8.6).



Fotografía aérea utilizada en la interpretación geomorfológica.

Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las fotografías aéreas, escala 1:20.000 y relevamiento de campo. Año 2009

Figura 8.6. Mapa geomorfológico del sector Noroeste de la cuenca alta del río Sauce Grande.

8.1.1.3. Tafoni

Los tafoni son formas de meteorización desarrolladas en paredes verticales de afloramientos rocosos cristalinos. Se trata de huecos esféricos o elipsoidales de escala variable (centimétrica a métrica) que presentan secciones arqueadas, con paredes internas cóncavas y visera superior extraplomada (Cooke *et al.*, 1993; Vidal Romaní y Twidale, 1998; Sancho *et al.*, 2004). En el área de estudio los mismos se encuentran en diferentes sectores y sobre las paredes con mayor pendiente de la Formación Lolén (Fig. 8.6) y también se observaron más reducidos y dispersos en altura (entre los 700 m y los 900 m) en la Formación Providencia. El desarrollo de estas formas de alteración son atribuidas a varios procesos y/o mecanismos. El comienzo de la mayoría de los tafoni está favorecido por la presencia de una fractura, diaclasa o plano de estratificación. Allí comienza la meteorización química/mecánica, los fragmentos de granos a medida que se altera el sustrato caen sobre la superficie de discontinuidad hasta que son limpiados por el agua o el viento. La continua exposición de la nueva superficie a la alteración produce el agrandamiento de estas cavidades (Vidal Romaní y Twidale, 1998) (Fig. 8.7).

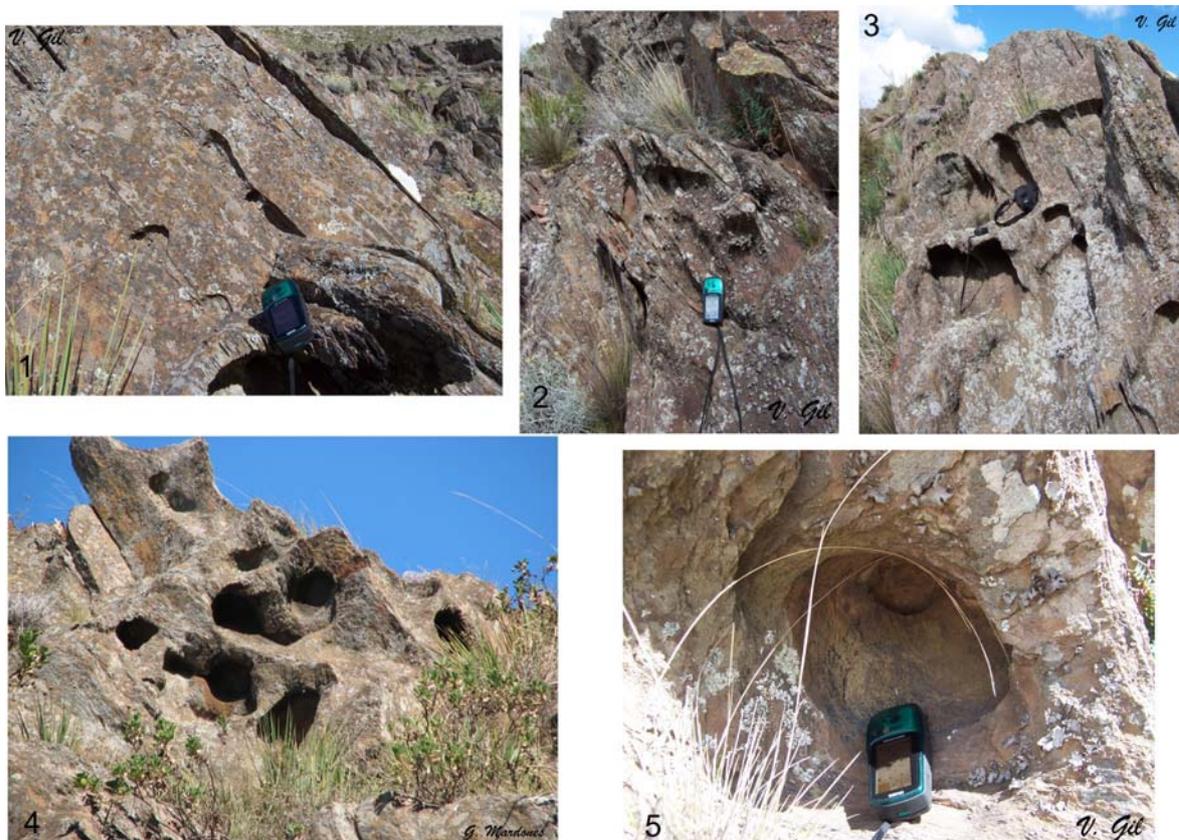


Figura 8.7. Ejemplos de tafoni encontrados en el sector serrano. 1,2 y 3) Diferentes estadios de alteración siguiendo los plano de debilidad. 4 y 5) forma alveolar de alteración.

8.1.2. Formas climáticas

8.1.2.1. Superficies de erosión paleógenas

A diferentes niveles sobre el macizo antiguo se distinguen superficies erosivas. Las mismas fueron vinculadas por Demoulin *et al.* (2005) con diferentes procesos de levantamiento tectónico de las sierras que se produjeron desde el Cretácico – Jurásico (ver capítulo 3). En la figura 8.1 se representan las que encuentran entre los 800 y 950 m aproximadamente, correspondientes al Paleógeno. Estas presentan una pendiente baja respecto a las circundantes con valores entre los 2 ° y los 5 ° (Fig. 8.8).



Figura 8.8. Morfología de la superficie erosiva localizada entre los 800 y 950 m.

8.1.2.2. Pedimentos

Los pedimentos conectan con la parte baja de un escarpe o ladera con un cambio de pendiente (knick del pedimento). Los mismos varían su superficie, los perfiles longitudinales oscilan entre cóncavos y rectos y la pendiente (entre 0,5-11 °) disminuye hacia zonas bajas (Gutierrez Elorza, 2002; Goudie, 2004) (Fig.8.8). Se pueden distinguir básicamente tres tipos de pedimento según Vidal Romaní y Twidale (1998): los que están cubiertos por detritus (pedimentos cubiertos); aquellos en los que la cubierta se deriva esencialmente de la alteración del substrato rocoso *in situ* (pedimentos de regolito), y los pedimentos rocosos o plataformas que carecen de una cubierta de material no

consolidado. El pedimento puede estar cubierto por detritos, pero su superficie sería la base erosiva.

Los pedimentos, posiblemente cubiertos, que se encuentran en la cuenca alta del río Sauce Grande, son superficies erosivas heredadas (Fig. 8.1 y 8.6). Estas superficies fueron asignadas a una edad Pliocena (Demoulin *et al.*, 2005) y se desarrollan entre 500-400 m aproximadamente. En la actualidad se encuentran disectados por los cursos de agua que desde el Pleistoceno temprano se desarrollan en el área, lo cual ha favorecido el arrastre y transporte de gran parte de la cobertura de los mismos.

La unión con el piedemonte se ve favorecida por el cambio de formación estratigráfica e incluso por un cambio de pendiente. Aquí es donde se encuentran las formas de alteración (tafoni principalmente) anteriormente analizadas. Mientras que en los sectores distales se observan las acumulaciones aluviales que en la actualidad son zonas de cultivo mayoritariamente (Fig 8.9 y 8.10)

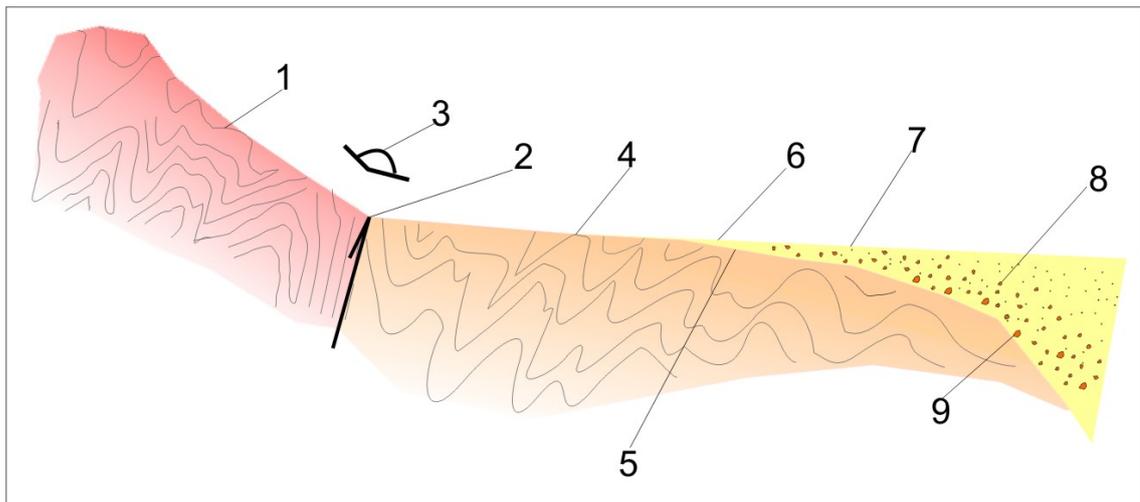


Figura 8. 9. Terminología y características de los pedimentos desarrollados en el piedemonte serrano. 1) ladera, 2) unión con el piedemonte, 3) ángulo de pedimento, 4) pedimento, 5) pedimento cubierto, 6) recubrimiento de detritos, 7) acumulaciones aluviales, 8) relleno aluvial, 9) fondo subfluvial.

Fuente: Modificado y adaptado al área de estudio de Mabutt (1977).



Figura 8.10. Diferentes vistas de los pedimentos que se desarrollaron durante el Plioceno en el piedemonte serrano.

8.1.2.3. Bajadas, acumulaciones aluviales y superficies de acumulación fluviales residuales

En la figura 8.11 se observa un detalle de un sector de la cuenca del río San Bernardo donde aparecen las geofomas aquí analizadas. Los abanicos aluviales se construyen fundamentalmente en relación con precipitaciones de alta intensidad. Las mismas son de baja frecuencia por lo cual la superficie del abanico está sometida a procesos secundarios (escorrentía superficial y subterránea, acción del viento y meteorización) que modifican su morfología (Gutierrez Elorza, 2001). Actualmente, la mayoría de los abanicos o conos aluviales que se encontraron están estabilizados y se encuentran mayormente vegetados. Los mismos, se reducen a sectores donde cursos de agua de 2 ó 3 orden desembocan en otro mayor, con el consiguiente cambio de pendiente que determina la depositación del material sedimentario. En algunos casos están disectados por un nuevo curso de agua formando éstos, a su vez, nuevos abanicos dentro de la llanura inundable de cauces mayores.

Las bajadas aluviales se encuentran en sectores cercanos a las sierras y se producen por coalescencia de conos aluviales contiguos. Se distinguen de las acumulaciones aluviales principalmente por su pendiente y posición. De todos modos en

la cuenca se encuentran sectores donde las bajadas se cultivan con prácticas de control de escurrimiento a partir de un sistema de curvas de nivel vegetadas que frenan la acción del escurrimiento en el lavado del suelo (Fig 8.12).

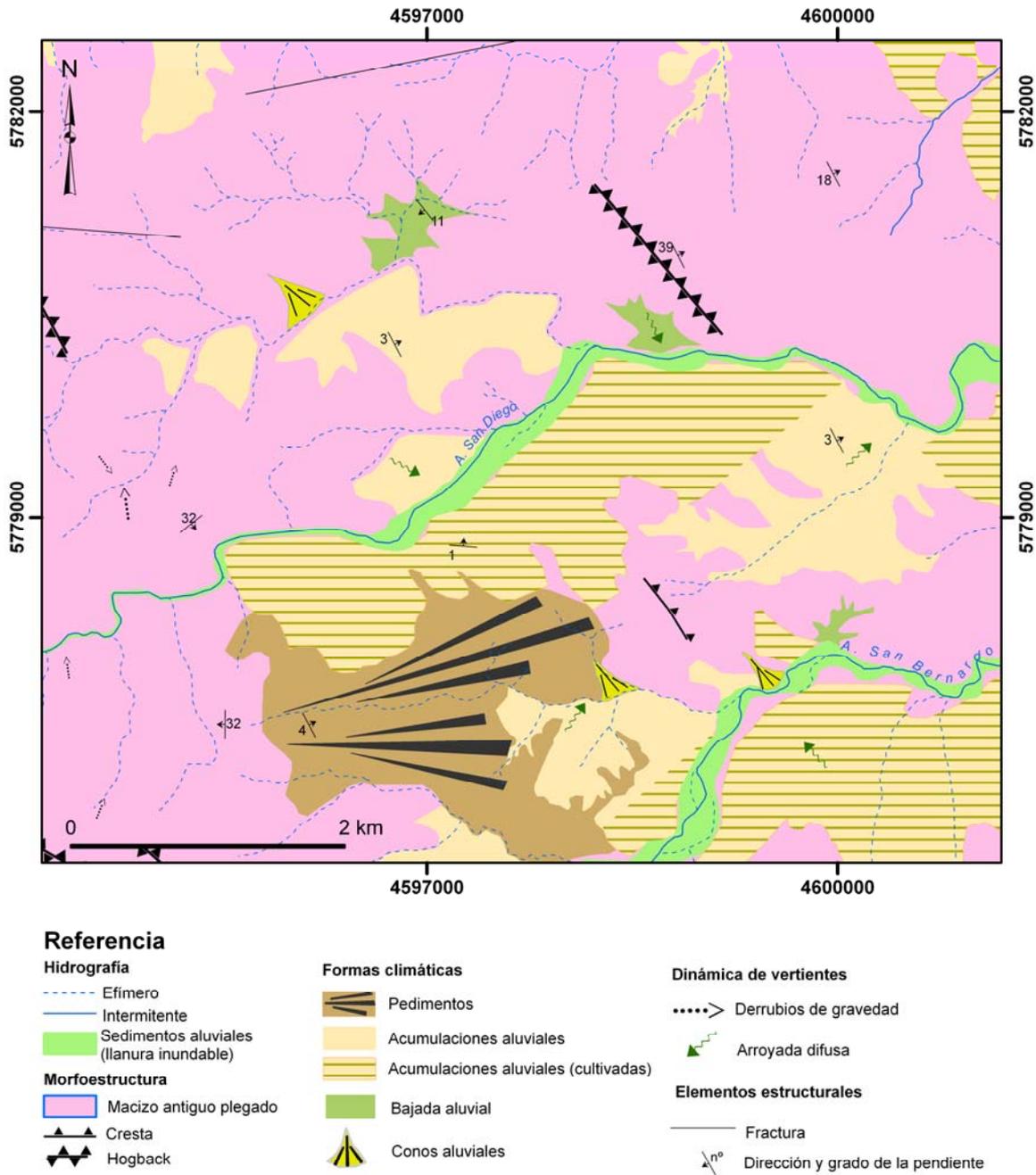


Figura 8.11 Mapa geomorfológico en el Centro – Oeste de la cuenca alta del río Sauce Grande.



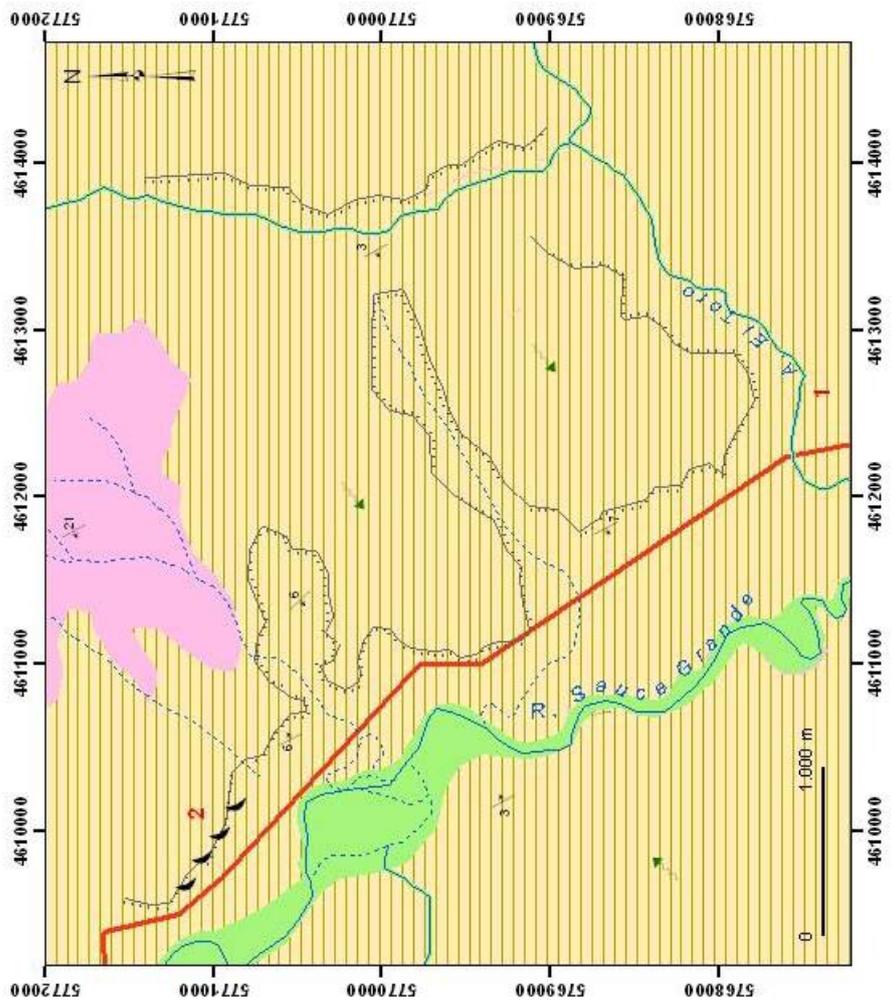
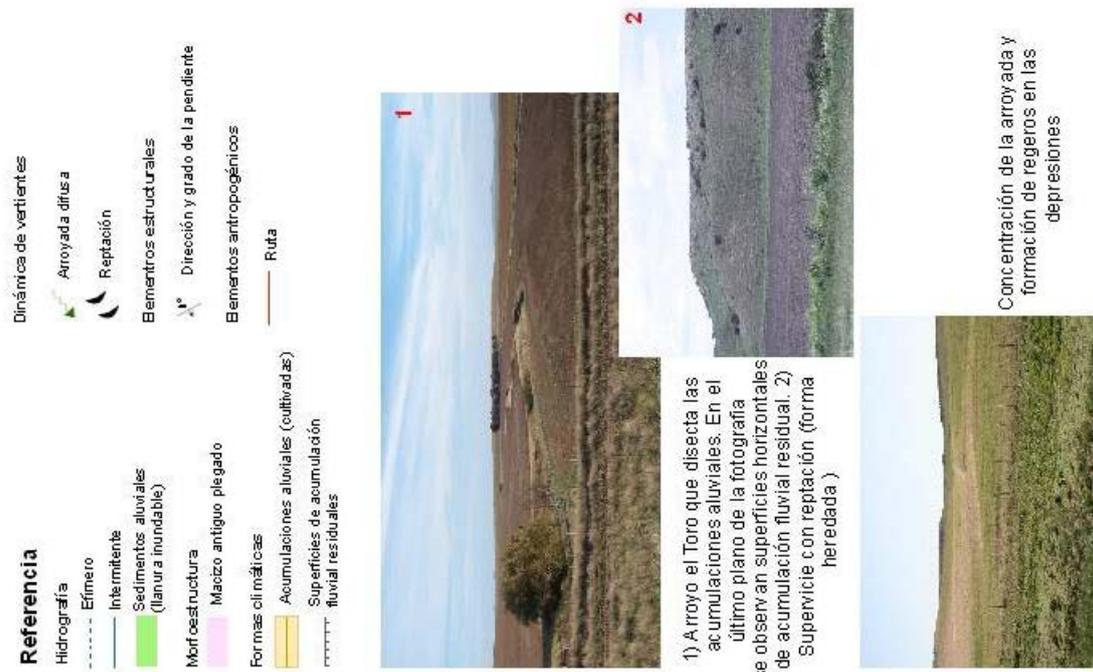
Figura 8.12. Bajadas aluviales. Las fotografías reflejan la inclinación de las mismas. En el primer caso se utiliza cultivos por curvas de nivel, en el segundo se utiliza para pastoreo .

En el caso de las acumulaciones aluviales presentes en la cuenca, su origen se debe a que los valles a lo largo de la historia geológica de la cuenca se comportaron como zonas geomorfológicamente deprimidas en los largos períodos secos. En estos períodos de ausencia de actividad fluvial del sistema principal, estas zonas deprimidas fueron rellenas por acumulaciones fluviales efímeras y eólicas, con desarrollo de suelos. (Zabala y Quattrocchio, 2001). Las mismas son la segunda unidad geomorfológica de importancia, por su superficie, dentro de la cuenca y su mayor desarrollo es en el sector Sur. El uso del suelo presente en las mismas es agrícola – ganadero (Fig. 8.13)



Figura 8.13. Uso del suelo agrícola sobre las acumulaciones aluviales (fotografías de la autora).

En el sector Sureste se encuentran superficies de acumulación fluvial residuales. Estas se encuentran sobre elevadas y son cubiertas por una capa de tosca que en ocasiones llega a los 3 m de espesor lo cual impide la erosión lineal, quedando así, como superficies relictas. Se identifican en el terreno, ya que las mismas presentan un escarpe y su superficie es casi horizontal. Donde la acción del agua permitió dismantelar la capa de tosca se encuentran depresiones que están siendo incididas por la red de drenaje actual (Fig. 8.14)



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las fotografías aéreas, escala 1:20.000 y relevamiento de campo. Año 2009

Figura 8.14. Mapa geomorfológico del sector Sureste de la cuenca alta del río Sauce Grande.

8.1.3. Dinámica de vertientes

Se distinguen en diferentes sectores deslizamientos, debris flow, derrubios por gravedad, erosión lineal y arroyada difusa. La generación de los mismos se ve afectada por el tipo de material, el grado de inclinación de la pendiente y la presencia de agua. Al ser una parte importante del sistema fluvial, las vertientes serán analizadas más profundamente en el inciso 8.2.

8.1.4. Hidrografía

Los límites de la cuenca son claros en el sector más alto del cordón entre los valores de 1.000 a 900 m mientras que en los sectores más bajos (300-200 m), sobre la zona de acumulaciones aluviales en el Sur de la cuenca, las divisorias de agua se hacen menos claras. En general se observa una red de drenaje bien integrada, la mayoría son cursos de agua efímeros y sólo los principales (coinciden con los órdenes 4, 5 y 6) mantienen caudales. Los rápidos y saltos de agua son frecuentes en aquellos sitios donde aflora roca de base (Fig 8.1).

En los valles menores (ordenes 1 a 2 de Horton) las llanuras de inundación son generalmente muy reducidas su morfología presenta un perfil en V en los sectores serranos para pasar a perfiles de pendientes abruptas y fondo casi plano donde los valles aumentan de orden llegando a 6 en este caso. La profundización relativamente reciente del cauce deja descubierto depósitos conglomerádicos y arenosos finos que conforman barrancas de edad Pleistoceno superior – Holoceno medio. Estos depósitos componen la Secuencia Agua Blanca propuesta por Zabala y Quattrocchio (2001).

La dinámica de los cursos es torrencial correspondiendo a los períodos de lluvia. Se distinguen en algunas subcuencas de orden 1 y 2 la zona de aporte con una morfología cóncava, que en la figura 8.6 aparece como cuenca de recepción. Otra zona, la de transporte, que permite el tránsito de los sedimentos hacia un curso de orden mayor.

8.1.5. Elementos de origen antropogénico

Entre los elementos antropogénicos que generan modificaciones en el paisaje cabe destacar los núcleos poblacionales Villa Ventana, Sierra de la Ventana y Saldungaray. También se encuentra el Parque Provincial Ernesto Tornquist que es un área natural

protegida en donde sólo se permiten aquellas actividades compatibles con los objetivos de conservación y protección, la investigación científica y el turismo. Uniendo las distintas localidades se encuentran las rutas provinciales 76 y 72. Asimismo, atraviesa la cuenca en dirección Norte y Noreste el ferrocarril que pasa por las localidades de Saldungaray y Sierra de la Ventana. Asimismo, las zonas de acumulaciones aluviales están mayormente destinadas a actividades agrícola – ganaderas.

8.2. Las vertientes: características y procesos

Según Derreau (1970) los interfluvios se componen de dos vertientes separadas o no por una superficie plana. Una ladera o vertiente es la superficie inclinada que se extiende entre la divisoria de agua y el fondo del valle y forma parte de los interfluvios (Strahler y Strahler, 1996). Como unidades geomorfológicas componen un importante sistema a través del cual materia y energía están en movimiento. Constituyen un elemento importante en la configuración de las cuencas, su morfología es compleja y debida genéticamente a múltiples procesos. La dinámica gravitacional es la más importante, asociada a ella aparecen normalmente procesos que dependen de los factores estructurales, las condiciones climáticas y los agentes de modelado que actúan. Por otra parte, el flujo de agua en la fase de laderas genera sobre las mismas morfologías características. El agua provoca una erosión difusa o areal sobre la ladera, la mayor o menor energía para erosionar depende de la inclinación, las características del terreno e incluso de la presencia de obstáculos a lo largo de su camino hacia alturas inferiores (López Bermúdez *et al.*, 1992; Pedraza Gilsanz, 1996; Panizza, 2002).

Los estudios sobre morfometría de vertientes permiten establecer las relaciones entre los componentes que interactúan en un determinado espacio y definir sectores con procesos predominantes y similar configuración (Gil y Campo, 2006). En la cuenca alta del río Sauce Grande son escasos los antecedentes de trabajo en esta temática. Las características y procesos de las laderas están relacionadas con factores estructurales, litológicos y climáticos predominantes en el área y este último es el que le imprime un sello distintivo a su modelado. Figueroa (1968) destaca la existencia de acumulaciones de bloques producidos por movimiento en masa de material meteorizado. Estas acumulaciones al pie de los faldeos serranos poseen forma de lóbulos y en algunos casos pueden observarse escalonamientos. Sin embargo, sólo los circunscribe a la subcuenca del arroyo del Oro.

A partir de aquí, se realizaron los primeros avances en la identificación de diferentes movimientos observados en trabajos de campo. Estos se evidencian principalmente por la alineación de los clastos que los conforman, la deformación de los troncos de los árboles y líneas de alambrados entre otros. Estas observaciones se complementaron con estudios morfométricos de vertientes los cuales se analizarán a continuación.

La forma de cualquier vertiente está determinada por la relación entre el grado de meteorización de la roca aflorante o no y el grado de movilización de este material rocoso a través de la misma o a través de cada segmento que la compone (Leopold *et al.*, 1992). Según Pedraza (1996) para analizar las vertientes, su trazado y desarrollo y correlacionarlas posteriormente con los procesos que las afectan, es necesario conocer aspectos morfométricos, fisiográficos y dinámicos.

En la consideración morfodinámica, la vertiente se refiere a todas aquellas áreas cuya funcionalidad las deja fuera de dominio de los colectores lineales para la escorrentía. La red hidrográfica es referencia y se distinguen elementos como la divisoria de agua, el talweg, la cuenca vertiente o interfluvio (Fig. 8.15).

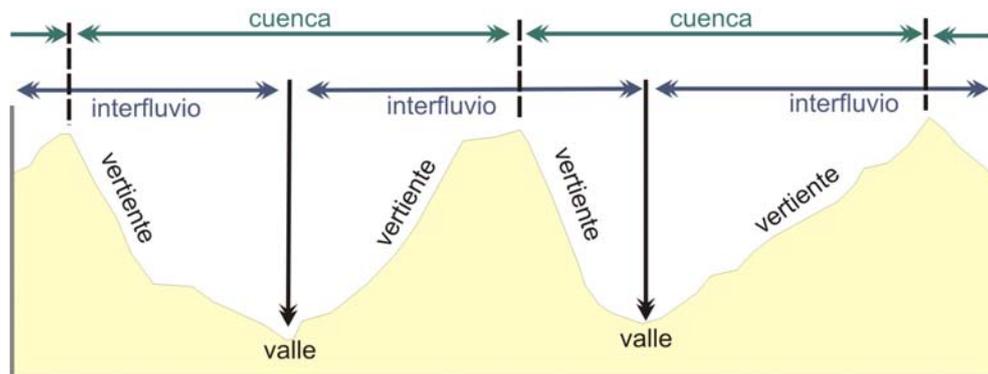


Figura 8.15. Elementos generales del relieve y posición de la vertiente o ladera.

Modificado de Pedraza (1996)

Desde el punto de vista morfométrico, toda vertiente se caracteriza por asociaciones de segmentos que mantienen un sentido de inclinación. Para delimitar una vertiente hay que considerar los cambios en los sentidos de inclinación y esto ocurre con segmentos de cima y fondo. El análisis de las variaciones en la inclinación se realiza mediante perfiles topográficos. En los mismos se definen los siguientes parámetros:

- Variaciones en la pendiente: Se le llama así a toda modificación en la inclinación de la superficie. Estas pueden ser progresivas, cuando no hay inflexiones, cambios

cuando hay inflexiones y rupturas cuando las inflexiones son netas. Las rupturas de pendiente son principalmente coincidentes con los talweg y las cimas en tanto que los cambios de pendiente son inflexiones suaves a lo largo de los perfiles topográficos.

- Segmentos: es cada porción entre dos cambios o rupturas de pendientes sucesivas. Pueden ser horizontales (sin inclinación), rectilíneos (inclinado con pendiente constante), cóncavos y convexos.

Desde el punto de vista fisiográfico se pueden distinguir las laderas de umbrías de las de solanas por la insolación que reciben, la presencia de vegetación y la diferencia de temperatura y humedad del aire. Estas condiciones se manifiestan en una diferencia en el tipo y cantidad de vegetación. Para el área de estudio, Kristensen y Frangi (1995) explican que ante una máxima insolación en verano y primavera, la capacidad evaporante del aire es elevada y las oscilaciones térmicas diarias y anuales son marcadas. La flora, principalmente herbácea se caracteriza por soportar bien el calor y la sequía y su cobertura es casi del 100 %, en tanto que la vegetación arbórea no cubre el 10 %. La ladera umbría recibe sol de dos a cinco horas al día en primavera y verano mientras que la mayor parte del año permanece sombría, aquí se observa un porcentaje alto (70-80 %) de vegetación arbórea.

Esta diferenciación fisonómica permite inferir tipos de procesos de meteorización física que afectan a la roca en las sierras. La poca insolación que reciben algunas laderas acentúa la intensidad de las heladas, favoreciendo el crioclastismo. Mientras que la exposición al sol y las oscilaciones térmicas (principalmente en zonas altas) acentúan los procesos de termoclastismo. Sumado a éstos se encuentra la vegetación, la misma actúa como agente de meteorización ya que se desarrolla entre las diaclasas de las rocas lo cual influye en la separación de los bloques. El continuo accionar de la meteorización deja disponible el material rocoso para que luego por gravedad o por flujos de agua generados por precipitación, sean movilizados pendiente abajo, hasta incorporarse en los cursos de agua.

Por otra parte, los aspectos funcionales permiten establecer las relaciones entre la forma y los procesos tipo generados. Troeh (1965) analiza la función de las pendientes teniendo en cuenta su carácter hidrológico y King (1967) lo hace sobre la base de su organización morfografía-proceso (Fig.8.16).

Así, teniendo en cuenta estos aspectos se procedió al análisis de las vertientes en la cuenca alta del río Sauce Grande.

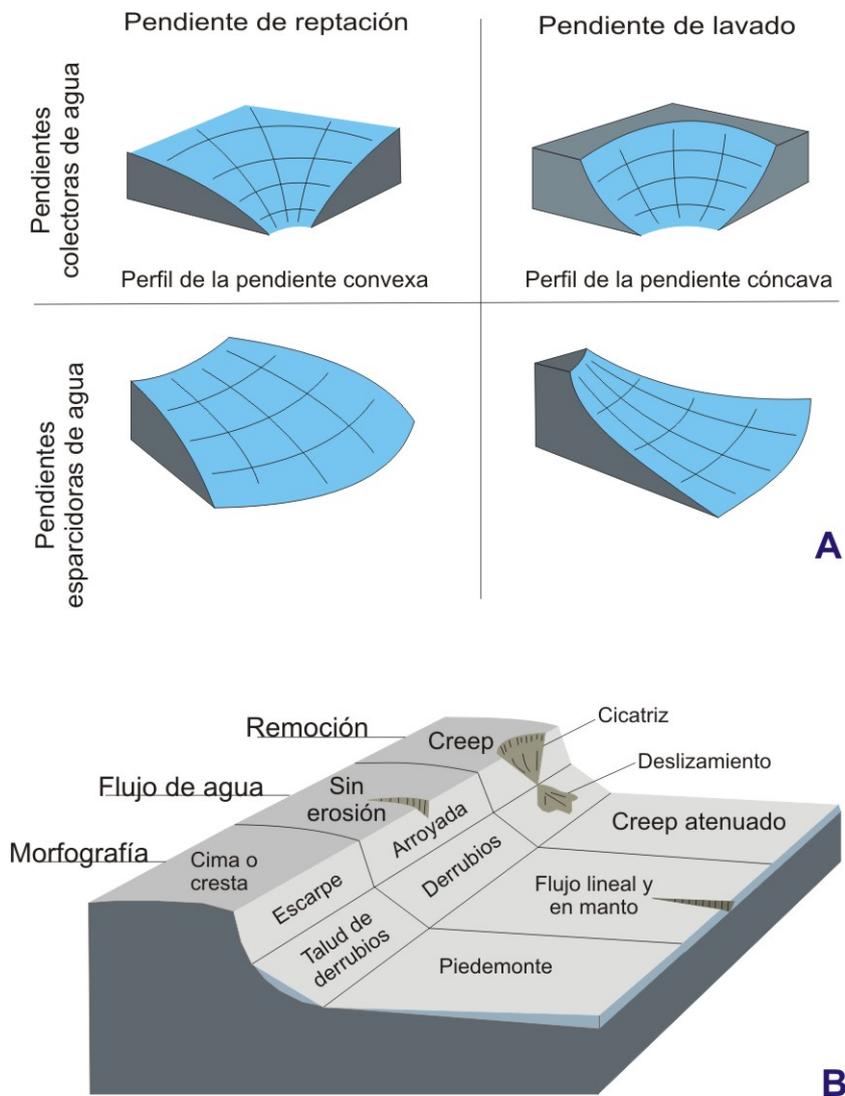


Figura 8.16. Clasificación funcional de las vertientes. (A) Por su carácter hidrológico. (B) Sobre la base de su organización morfografía-proceso

8.2.1. Identificación y análisis de procesos de vertientes en la cuenca alta del río Sauce Grande

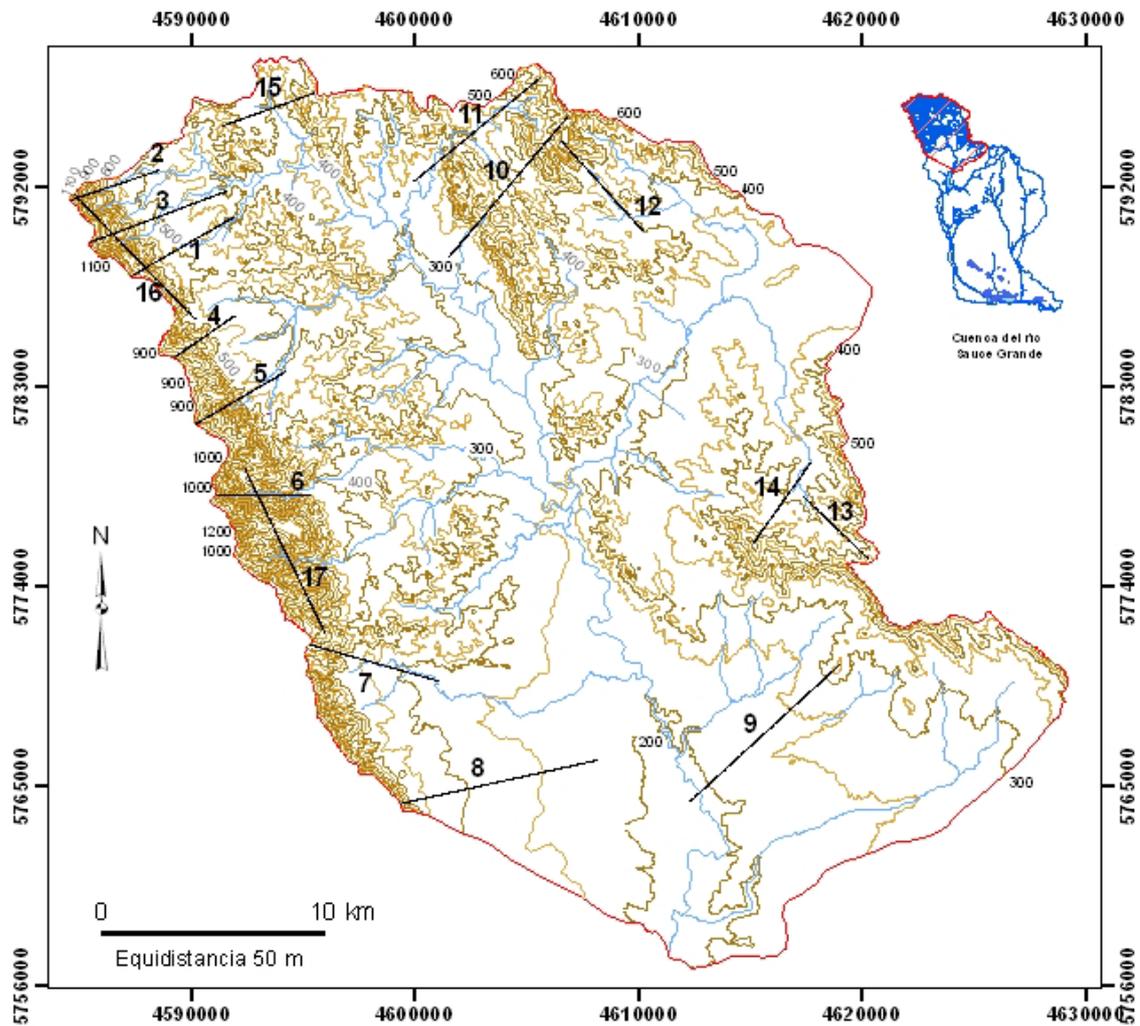
La elección de estos sectores representativos para la identificación y análisis de procesos de vertientes se basaron en el grado de inclinación de la pendiente general y de los segmentos en particular, el cordón serrano que la contiene, la orientación y la posición

respecto a elementos antropogénicos y a las subcuencas más importantes del área de estudio. El reconocimiento de campo fue fundamental para la identificación y comprobación de los procesos que actúan en las mismas. Se realizaron 17 perfiles topográficos y se los analizó morfométricamente. La localización de los mismos en la cuenca alta del río Sauce Grande se observa en la figura 8.17.

En cuanto a las características morfométricas, el trazado de curvas de nivel muestra sectores donde existen contrastes entre pendientes. El mapa de pendientes permite distinguir la predominancia de pendientes menores a $6,65^\circ$. Las mismas caracterizan la zona del piedemonte donde se desarrollan los campos de cultivos y los sectores urbanos-recreativos. Las pendientes de más de $12,56^\circ$ se ubican a alturas mayores de 500 m en el sector Oeste de la cuenca y coinciden con el sector de afloramiento de rocas mayormente cuarcíticas. En el sector Este afloran las areniscas silicificadas, esquistos y pizarras, posee menor altura y las mayores pendientes ($> 12,56^\circ$) se encuentran entre 400-600 m (Figura 8.17.A.)

En todos los perfiles se pueden observar las rupturas de pendiente y cambios de pendiente o inflexiones suaves. Cada tramo fue clasificado según el tipo (recto, horizontal, cóncavo, convexo). Asimismo, en las figuras se asocian a ellos y relacionados al porcentaje de pendiente, los procesos que tienen un origen gravitatorio y fluvial. Los mismos se detallan para los sectores relevados.

Los perfiles 1, 2 y 3 se observan en la figura 8.18 se encuentran ubicados de forma longitudinal a los cursos de agua que componen las subcuencas del arroyo Destierro Primero, Horqueta del Sauce, de los Remansos. Son los que alcanzan mayores alturas, predominan los tramos rectos y horizontales en el sector bajo (600-450 m) y los cóncavos y convexos en los tramos más altos (más de 600) (Tabla 8.1). Aquí se observan contrastes marcados entre la parte alta de los perfiles donde la energía del relieve es mayor y la parte más baja donde la diferencia entre cotas en los segmentos es menor. Las pendientes cóncavas en los sectores de cabeceras de cursos de agua y en las partes altas de los perfiles se asocian a pendientes de lavado concentradoras de agua, en las mismas se observan la incisión de cursos de agua (Fotografía 1 Fig. 8.19). En las pendientes rectas con poca pendiente predomina la arroyada en manto (Fotografía 2 Fig. 8.19). Si la roca está expuesta y se encuentra a alturas mayores a 900 se pueden observar procesos de meteorización que rompen la roca siguiendo las líneas de debilidad o según el diclasamiento presente (Fotografía 3 Fig. 8.19)

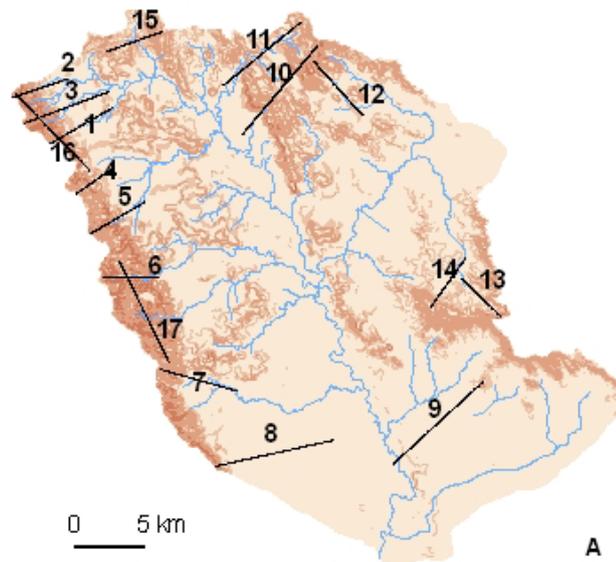


Referencias

- Curva de nivel principal
- Curva de nivel secundaria
- Cuenca alta del río Sauce Grande
- Cursos de agua principales
- n° Línea de perfil topográfico y número de identificación

Pendiente (°)

- 0 - 5
- 5 - 10
- 10 - 25
- 25 - 45
- 45 - 60
- mayor de 60



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las cartas topográficas IGM, escala 1:50.000. Año 2009.

Figura 8.17. Localización de los perfiles topográficos en la cuenca alta del río Sauce Grande. A. Mapa de pendientes y localización de los perfiles (ver mayor detalle Fig. 7.10)

Perfil 1							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	1	R	5	+	4	+	0
CV	1	H	4	-	6	-	0

Perfil 10							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	2	R	16	+	11	+	5
CV	7	H	9	-	13	-	4

Perfil 2							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	1	R	9	+	7	+	0
CV	3	H	3	-	6	-	0

Perfil 11							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	3	R	8	+	8	+	1
CV	5	H	8	-	12	-	1

Perfil 3							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	4	R	6	+	4	+	2
CV	1	H	3	-	10	-	2

Perfil 12							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	2	R	4	+	5	+	0
CV	2	H	5	-	6	-	1

Perfil 4							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	0	R	4	+	3	+	0
CV	1	H	4	-	5	-	0

Perfil 13							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	4	R	5	+	5	+	1
CV	4	H	4	-	8	-	2

Perfil 5							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	2	R	4	+	3	+	1
CV	2	H	3	-	5	-	1

Perfil 14							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	0	R	2	+	2	+	0
CV	3	H	2	-	4	-	0

Perfil 6							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	3	R	3	+	6	+	1
CV	4	H	5	-	5	-	2

Perfil 15							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	3	R	4	+	3	+	2
CV	6	H	4	-	10	-	0

Perfil 7							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	1	R	7	+	3	+	2
CV	5	H	3	-	8	-	2

Perfil 16							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	11	R	15	+	7	+	7
CV	7	H	4	-	13	-	7

Perfil 8							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	0	R	4	+	3	+	0
CV	1	H	1	-	2	-	0

Perfil 17							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	6	R	15	+	6	+	6
CV	12	H	3	-	18	-	4

Perfil 9							
N° segmentos		N° de cambios y rupturas					
CX	1	R	4	+	2	+	0
CV	0	H	1	-	4	-	0

Tabla 8.1. Cantidad de tipos de segmento, cambios y rupturas para cada perfil morfométrico.

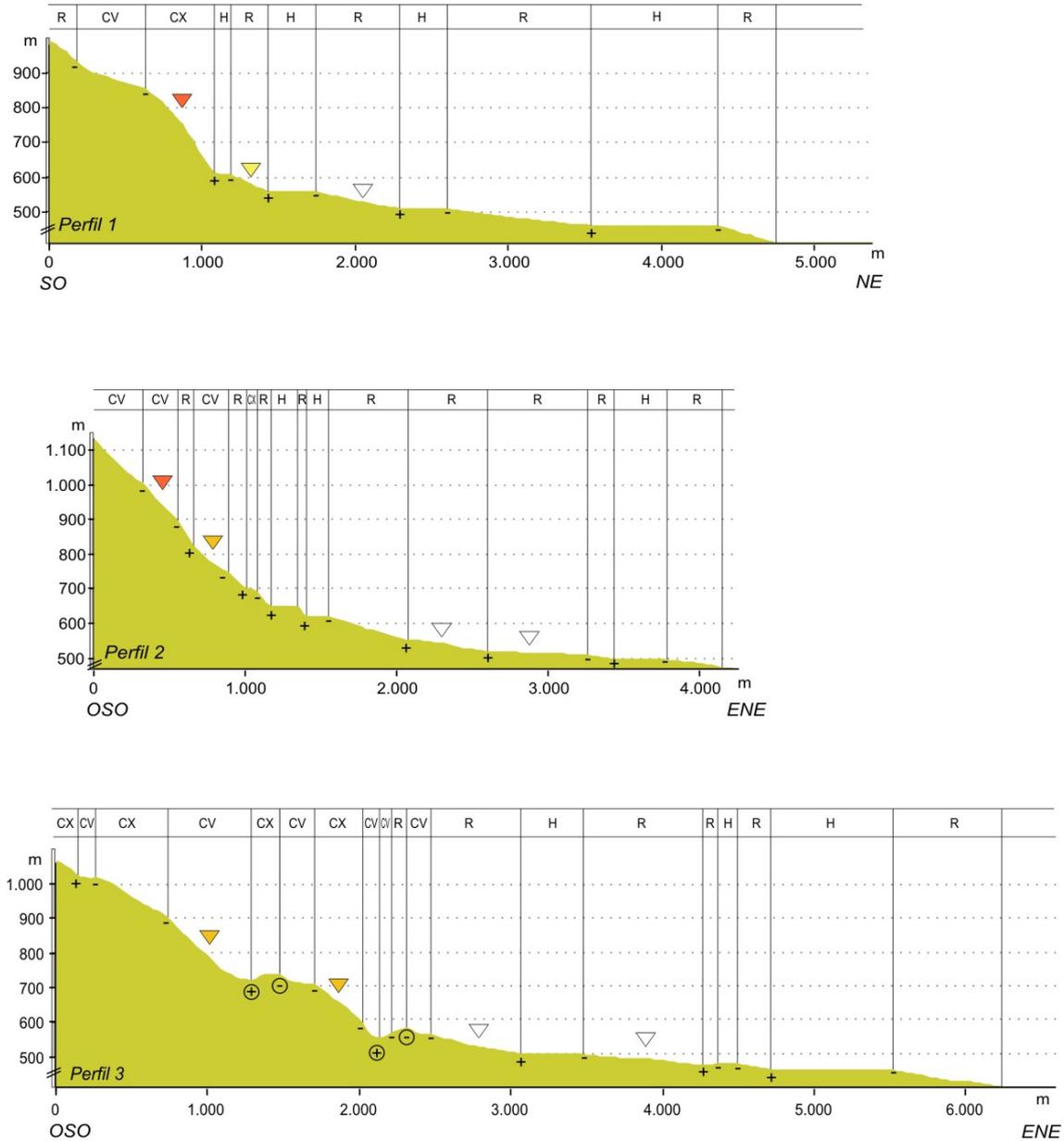


Figura 8.18. Perfiles morfométricos sobre el cordón Sierra de la Ventana (Norte)

0 100 m Escala vertical 0 1000 m Escala horizontal

Tramos de pendiente: horizontales (H), rectilíneos (R), cóncavos (CV), convexos (CX)
Cambios y rupturas de pendientes positivas (+) y negativas (-).
Cambios y rupturas positivas ⊕ y negativas ⊖ en los puntos neutros

Pendiente	Símbolo	Procesos Asociados
0° a 5°	▽	Ligero lavado. Arroyada en manto.
5° a 10°	▽	Arroyada en manto, a veces, en surco. Inicio de movimientos en masa (creep), Incisión
10° a 25°	▽	Erosión lineal, arroyada en surco, movimientos en masa, soliflucción, creep (reptación), deslizamientos (flujo de barro, flujo de detritos)
25° a 45°	▽	Deslizamientos (flujos de barro, de detritos). Arroyada concentrada (en surco).
45° a 60°	▽	Caídas, deslizamientos (flujos de barro, de detritos) . Arroyada con reguero concentrado, erosión retrocedente de cursos de agua importante.
Mayor a 60°	▽	Caídas, colapsos.



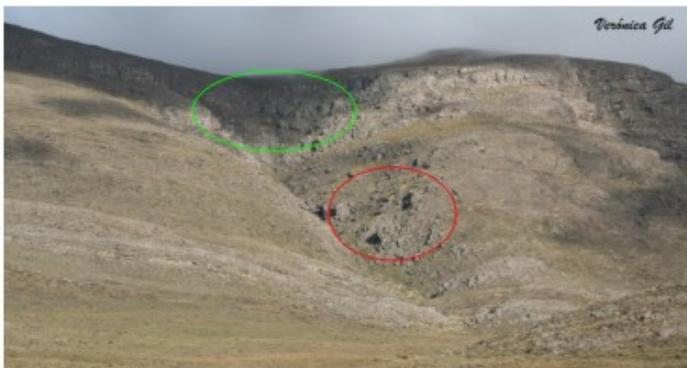
Pendiente recta-cóncava. El proceso predominante es la arroyada en manto. La vegetación retarda de la erosión lineal.



Sectores con reptación (creep) y ladera de detritos



Fragmentación de bloques (cima entre perfil 1 y 3)



Erosión retrocedente (verde) y caída de bloques (rojo)

Figura 8.19. Tipología de pendientes y procesos asociados

El perfil 4 (Fig. 8.20) sigue el trazado longitudinal de un tributario del arroyo del Oro. El perfil presenta pendientes horizontales y rectas (entre 10 y 25°) y un segmento cóncavo. La proporción de tierras que superan la cota de 500 m es mayor. En este perfil se observa la existencia de movimientos en masa antiguos coincidentes con el segmento cóncavo y denominado por Figueroa (1968) como lóbulo de soliflucción. El mismo fue mapeado y se midió su movimiento calculando unos 10 cm por año de desplazamiento. Actualmente el mismo está vegetado y es reactivado y modelados por los procesos actuales (desprendimientos, flujos de detritos y barro y en la base creep o reptación) que sobreimprimen una morfología distinta a la heredada (Fotografías en la figura Fig. 8.20)

Los perfiles 5, 6 y 7 son también longitudinales a cursos de agua, en este caso a los arroyos del Oro, San Bernardo y Rivera. Presentan entre uno y dos rupturas de pendientes negativas y positivas en puntos neutros debido a que el perfil corta tributarios a los cursos de agua anteriormente mencionados (positivas) y las negativas coinciden con divisorias de agua menores correspondientes a los tributarios. En estos perfiles se encuentran mayor cantidad de pendientes cóncavas y convexas (Tabla 8.1) y siguen predominando los segmentos rectos y horizontales. En los perfiles 5 y 6 se observa a los 600 m una coincidencia de segmentos horizontales, los mismos corresponden a niveles de superficies erosivas que también se encuentran en otros sectores de las sierras a diferentes alturas. En las figuras 8.22 y 8.23 se observa en pendientes rectas laderas tapizadas por detritos y bloques, producto de la movilización de los mismos por la gravedad y el agua que satura el material que los sustenta y los mueve pendiente abajo. En la fotografía A (Fig. 8.24) se observa una pendiente de lavado donde se concentra la arroyada dando lugar a la formación de surcos.

Los perfiles 8 y 9 pertenecen al sector Sur de la cuenca alta del río Sauce Grande, los mismos se realizaron opuestos, el perfil 8 sobre el cordón Sierra de la Ventana y el 9 cordón Pillahuincó. Como se observa en las figuras 8.25 y 8.26 en los mismos predominan pendientes con valores menores a 10° y se encuentran comprendidos entre los 550 y 250 m. En este tipo de vertientes rectas con poca pendiente se observan procesos de arroyada en manto principalmente, en las mayores pendientes se producen movimientos de reptación de suelo (Fotografías de la Fig. 8.27)

Los perfiles 10 y 11 pertenecen también al cordón Pillahuincó en el sector Norte de la cuenca alta del río Sauce Grande (Fig. 8.28). Los mismos poseen rupturas de pendiente (negativas y positivas) en puntos neutros. El perfil 10 posee 4 negativas y 5

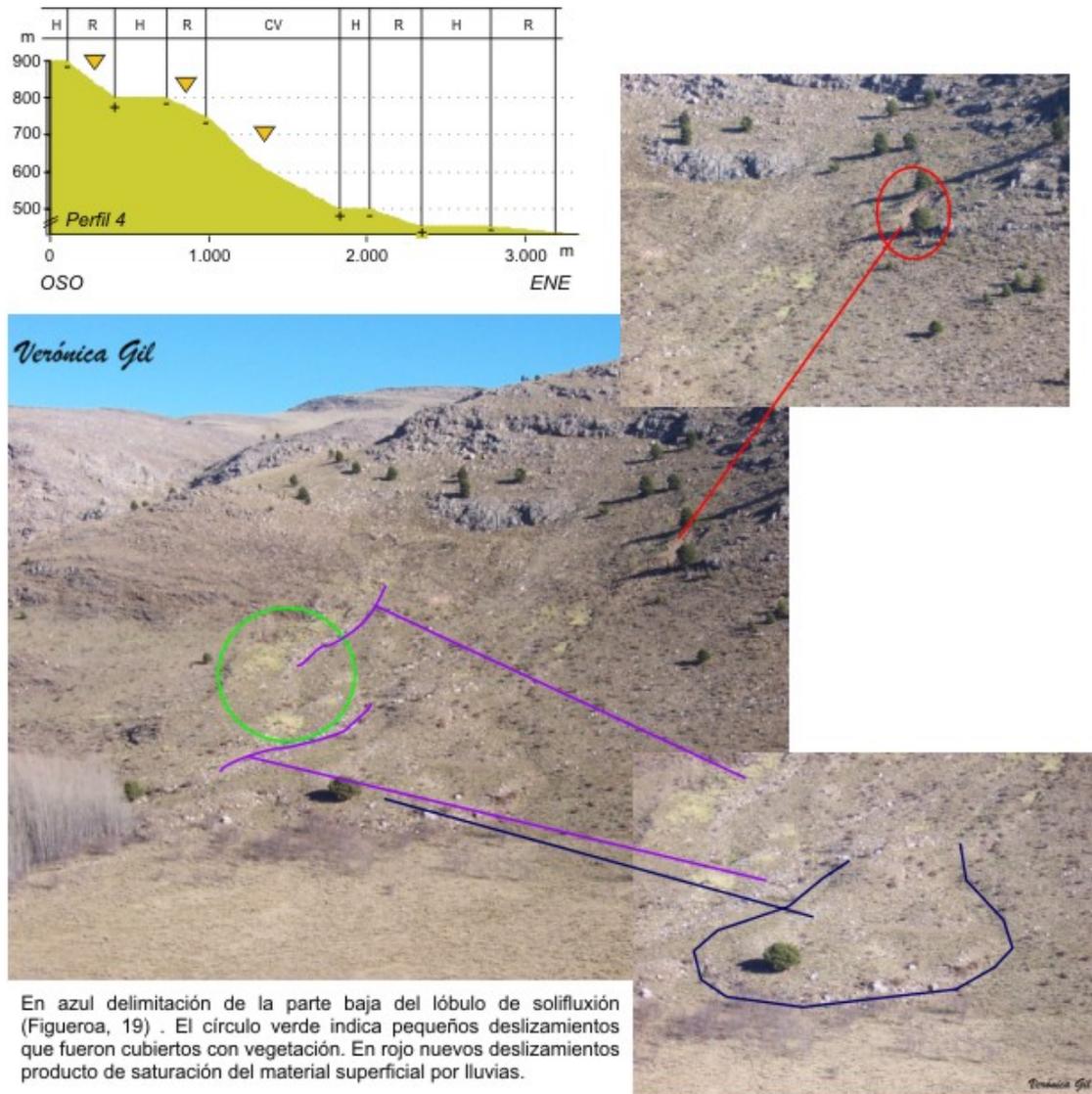


Figura 8.20. Perfiles morfométricos sobre el cordón Sierra de la Ventana (centro)

Pendiente	Símbolo	Procesos Asociados
0° a 5°	▽	Ligero lavado. Arroyada en manto.
5° a 10°	▽	Arroyada en manto, a veces, en surco. Inicio de movimientos en masa (creep), Incisión
10° a 25°	▽	Erosión lineal, arroyada en surco, movimientos en masa, soliflucción, creep (reptación), deslizamientos (flujo de barro, flujo de detritos)
25° a 45°	▽	Deslizamientos (flujos de barro, de detritos). Arroyada concentrada (en surco).
45° a 60°	▽	Caídas, deslizamientos (flujos de barro, de detritos). Arroyada con reguero concentrado, erosión retrocedente de cursos de agua importante.
Mayor a 60°	▽	Caídas, colapsos.

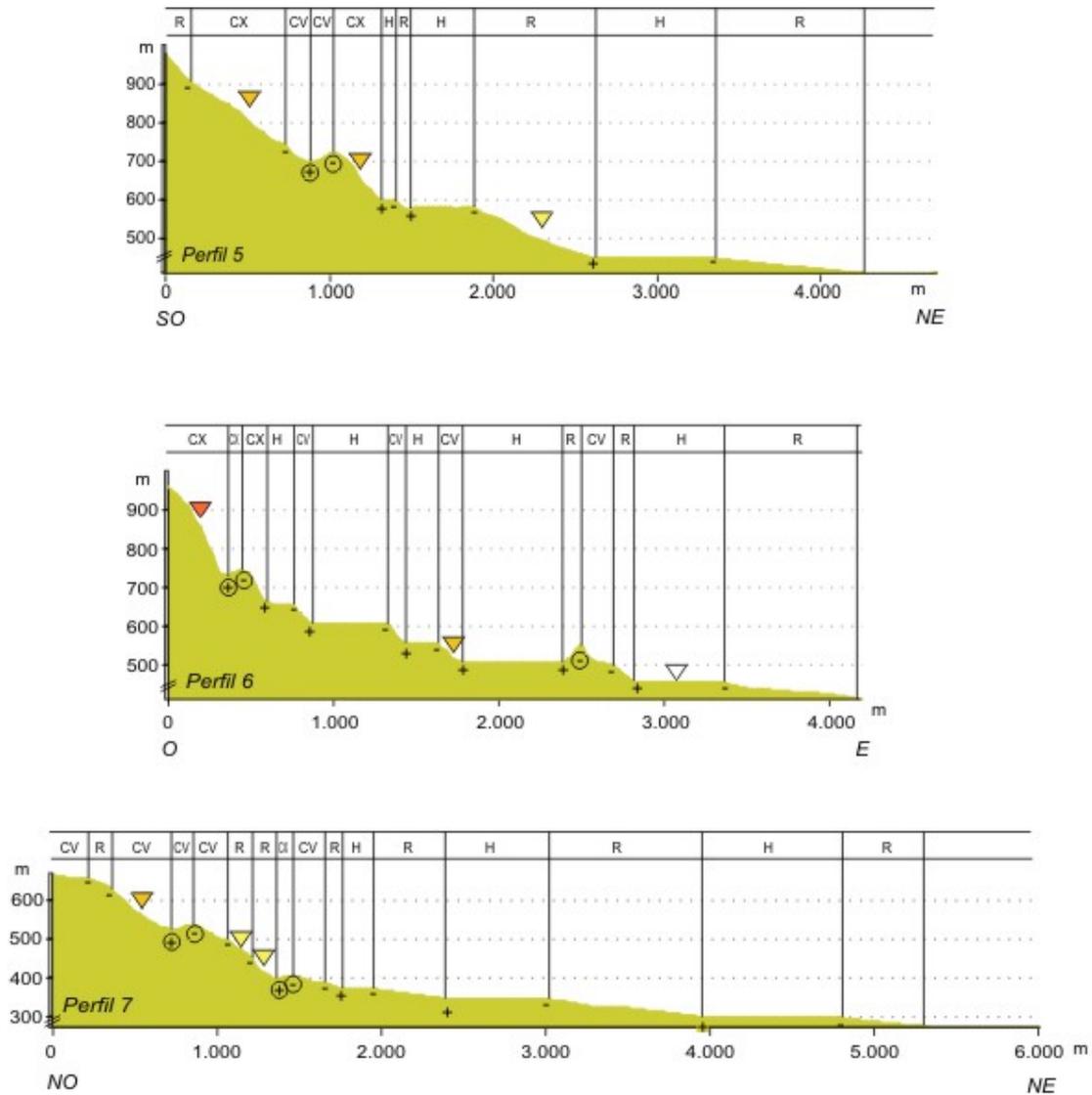


Figura 8.21. Perfiles morfométricos sobre el cordón Sierra de la Ventana (Sur)

0 100 m Escala vertical 0 1000 m Escala horizontal

Tramos de pendiente: horizontales (H), rectilíneos (R), cóncavos (CV), convexos (CX)
 Cambios y rupturas de pendientes positivas (+) y negativas (-).
 Cambios y rupturas positivas ⊕ y negativas ⊖ en los puntos neutros

Pendiente	Símbolo	Procesos Asociados
0° a 5°	▽	Ligero lavado. Arroyada en manto.
5° a 10°	▽	Arroyada en manto, a veces, en surco. Inicio de movimientos en masa (creep), Incisión
10° a 25°	▽	Erosión lineal, arroyada en surco, movimientos en masa, soliflucción, creep (reptación), deslizamientos (flujo de barro, flujo de detritos)
25° a 45°	▽	Deslizamientos (flujos de barro, de detritos). Arroyada concentrada (en surco).
45° a 60°	▽	Caidas, deslizamientos (flujos de barro, de detritos) . Arroyada con reguero concentrado, erosión retrocedente de cursos de agua importante.
Mayor a 60°	▽	Caidas, colapsos.



Figura 8.22. Laderas tapizadas por detritos y bloques. Afloramientos rocosos con elevado diaclasamiento. Los agentes actuantes son la



Figura 8.23. Laderas tapizadas por detritos y bloques. Arroyada concentrada, formación de cauces de orden 1.



Figura 8.24. Sector comprendido entre el perfil 5 y 6. Se observa la concentración inicial del flujo de agua (arroyada en surco). En detalle (A) formación de surcos (B) Fracturación de la roca siguiendo las líneas de diaclasamiento.

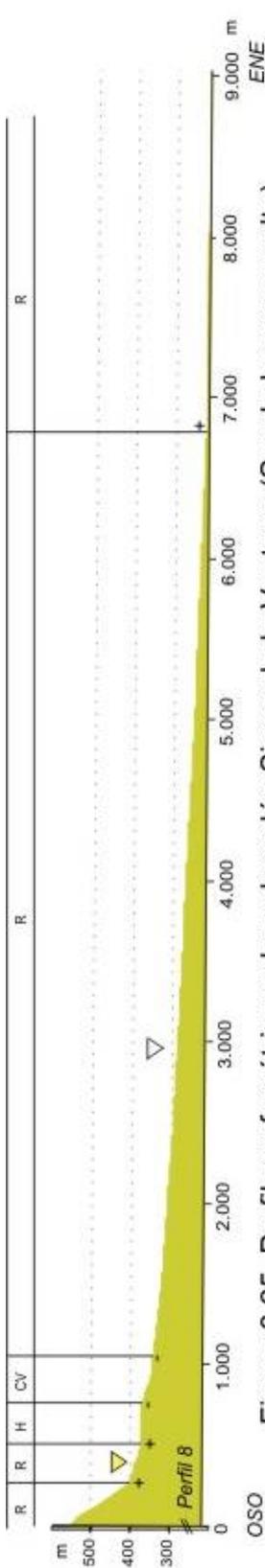


Figura 8.25. Perfil morfométrico sobre el cordón Sierra de la Ventana (Sur de la cuenca alta)

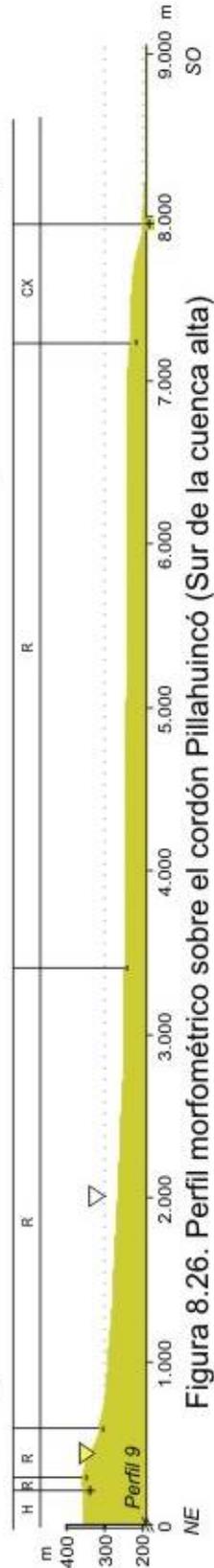


Figura 8.26. Perfil morfométrico sobre el cordón Pillahuincó (Sur de la cuenca alta)



Figura 8.27. Pendientes con valores entre 1° y 10°. Sector Sur de la cuenca alta del río Sauce Grande donde se desarrollan suelos con textura franco arenosa.

En las pendientes mayores se observan terracillas producto de la reptación actualmente menos activa.



Tramos de pendiente: horizontales (H), rectilíneos (R), cóncavos (CV), convexos (CX)
 Cambios y rupturas de pendientes positivas (+) y negativas (-).
 Cambios y rupturas positivas ⊕ y negativas ⊖ en los puntos neutros

Pendiente	Símbolo	Procesos Asociados
0° a 5°	▽	Ligero lavado, Arroyada en manto.
5° a 10°	▽	Arroyada en manto, a veces, en surco. Inicio de movimientos en masa (creep), inersión
10° a 25°	▽	Erosión lineal, arroyada en surco, movimientos en masa, soflución, creep (reptación), deslizamientos (flujo de barro, flujo de detritos)
25° a 45°	▽	Deslizamientos (flujos de barro, de detritos), Arroyada concentrada (en surco).
45° a 60°	▽	Caidas, deslizamientos (flujos de barro, de detritos) - Arroyada con reguero concentrado, erosión retrocedente de cursos de agua importante.
Mayor a 60°	▽	Caidas, colapsos.

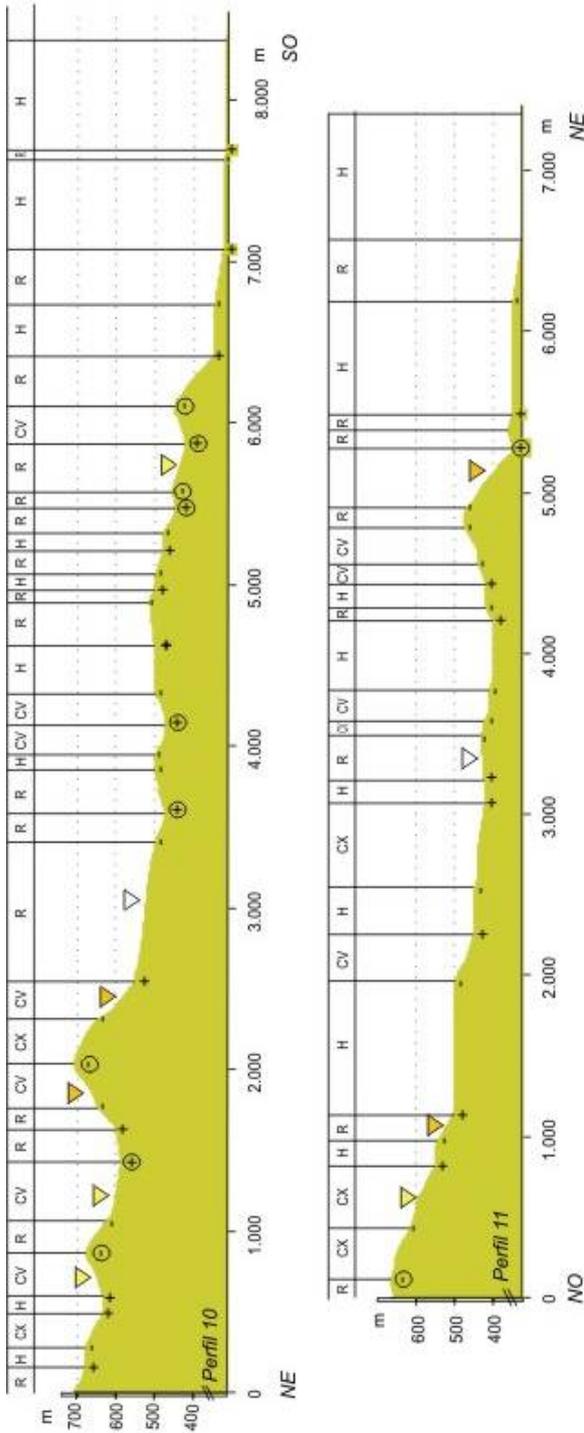


Figura 8.28. Perfiles morfométricos sobre el cordón Pillahuincó(Norte)



Figura 8.29. Ejemplos de pendientes cóncavo - convexas y horizontales

Tramos de pendiente: horizontales (H), rectilíneos (R), cóncavos (CV), convexos (CX)
 Cambios y rupturas de pendientes positivas (+) y negativas (-).
 Cambios y rupturas positivas ⊕ y negativas ⊖ en los puntos neutros

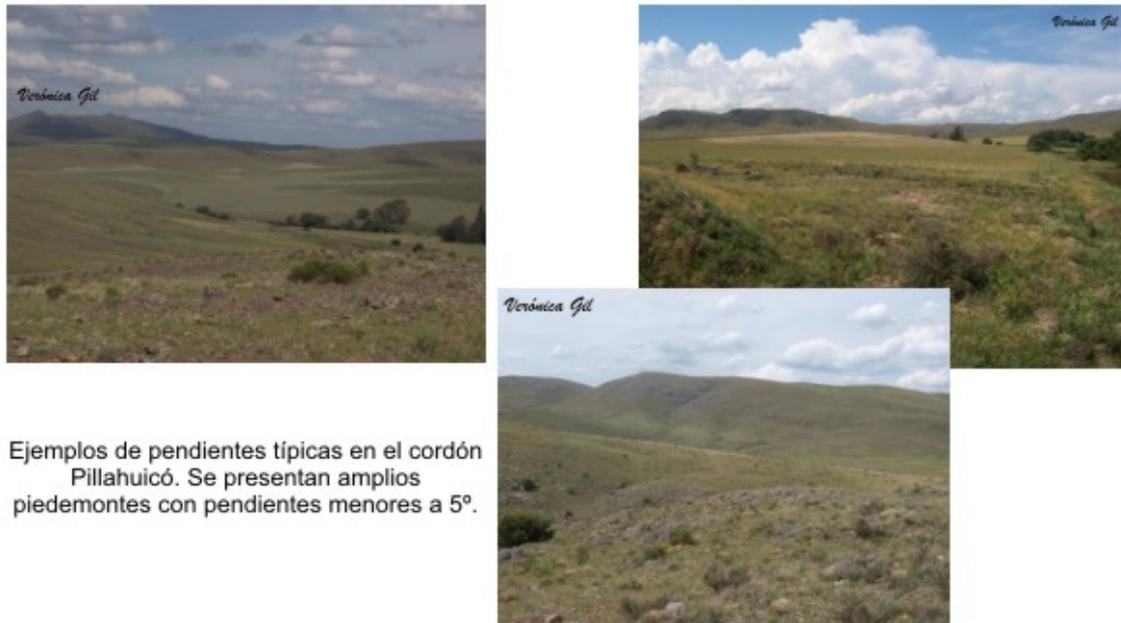
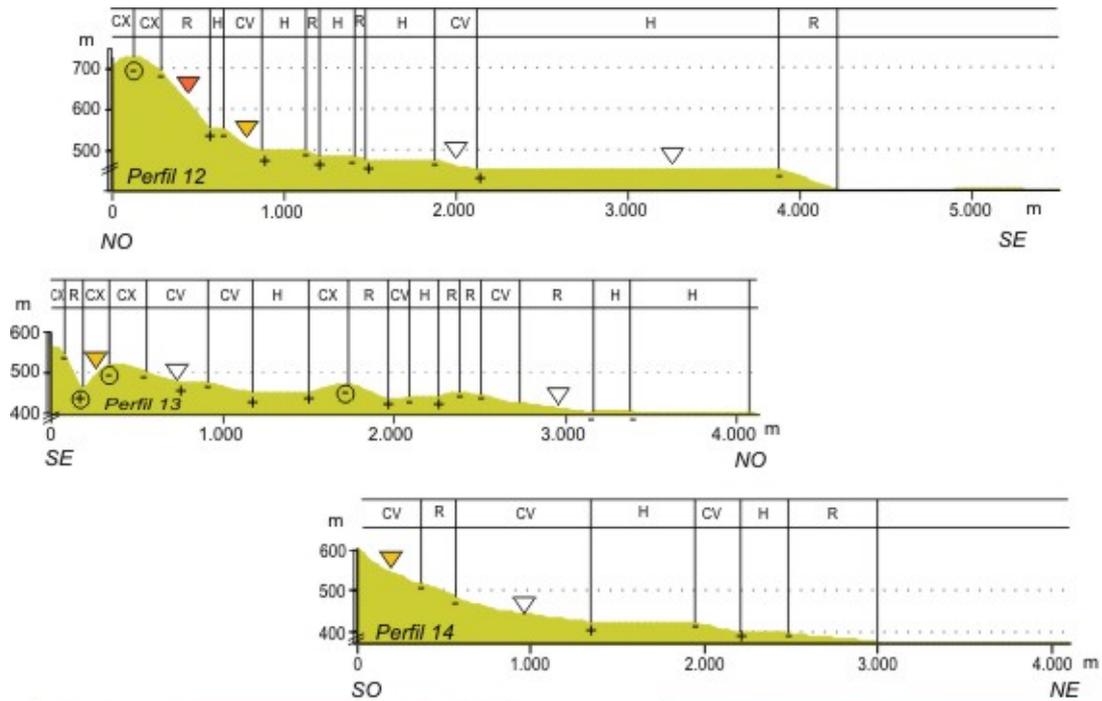
0 100 m Escala vertical
 0 1000 m Escala horizontal

Pendiente	Símbolo	Procesos Asociados
0° a 5°	▽	Ligero lavado, Arroyada en manto.
5° a 10°	▽	Arroyada en manto, a veces, en surco. Inicio de movimientos en masa (creep), Inisión
10° a 20°	▽	Erosión lineal, arroyada en surco, movimientos en masa, soliflución, creep (replacón), deslizamientos (flujo de barro, flujo de débris)
20° a 45°	▽	Deslizamientos (flujos de barro, de déritos), Arroyada concentrada (en surco).
45° a 60°	▽	Caidas, deslizamientos (flujos de barro, de déritos), Arroyada con reguero concentrado, erosión retrocedente de cursos de agua importante.
Mayor a 60°	▽	Caidas, colapsos.

positivas coincidiendo con cursos de agua tributarios del arroyo El Atravesado. Aquí los procesos asociados a las vertientes se corresponden con la arroyada en manto y en surco dependiendo del grado de pendiente y en algunos casos se encuentran deslizamientos (en pendientes mayores a 20°). La fotografía de la figura 8.29 permite observar las pendientes cóncavo-convexas y horizontales representativas de los perfiles analizados.

En los perfiles 12, 13 y 14, que pertenecen a sectores del cordón de Pillahuicó, se observa que las alturas son menores y están comprendidos entre los 700 y 400 m. Los mismos pertenecen a la cuenca del arroyo El Negro. Las rupturas positivas de pendiente del perfil 13 coinciden con cursos tributarios. En ellos la cantidad según el tipo de segmento son semejantes sin predominio mayoritario de uno de ellos. Sólo en el perfil 14 no se observan segmentos convexos. Los procesos asociados implican arroyada en manto y a medida que las pendientes llegan a 5° o más comienzan a producirse surcos los cuales evolucionan luego en los regueros que se estabilizan formando los cursos de orden 1. En los sectores de mayor pendiente se generan procesos de remoción ligados a flujos de detritos y barro generados por lluvias intensas (Fig. 8.30).

Por último los perfiles 15, 16 y 17 representan sectores transversales del cordón Sierra de la Ventana (Fig. 8.31). De ellos el 16 y 17 son los que, a diferencia del resto, se producen más rupturas de pendiente en puntos neutros. De acuerdo con la diferencia de altura de los distintos tramos de pendiente, la energía del relieve es mayor que el resto de los perfiles. De todas formas y de la observación de la fotografía aérea y relevamiento de campo se destacan procesos de remoción en los interfluvios de los cursos de agua. Entre ellos se destaca la caída libre de bloques rocosos en los segmentos de mayor grado de pendiente. Procesos de creep en los sectores altos de las pendientes rectas y convexas, depósitos generados por generación de flujos de detritos y deslizamientos. Algunos de ellos heredados de otros períodos y hoy vegetados e incididos por curso fluviales actuales. En el sector Sur-Sureste del perfil 16 (Fig. 8.31) se observa entre 600-500 m pendientes que oscilan entre los 8° y los 30° . En este sector se localiza la ruta 76, la misma se ubica en un valle transversal a la estructura plegada (clúsé). La construcción de esta ruta significó la dinamitación de la roca y la transformación del paisaje. Los cambios de pendiente hasta de 50 % de diferencia generaron un desequilibrio en el sistema produciéndose deslizamientos mixtos (detritos y tierra), aumento de la erosión retrocedente e incluso incisión de los cauces en busca de un nuevo perfil de equilibrio. Sobre las laderas del abra (tramo perteneciente a la cuenca del arroyo del Oro) la



Ejemplos de pendientes típicas en el cordón Pillahuicó. Se presentan amplios piedemontes con pendientes menores a 5°.

Figura 8.30. Perfiles morfométricos sobre el cordón Pillahuicó (Norte - Centro)



Tramos de pendiente: horizontales (H), rectilíneos (R), cóncavos (CV), convexos (CX)
 Cambios y rupturas de pendientes positivas (+) y negativas (-).
 Cambios y rupturas positivas ⊕ y negativas ⊖ en los puntos neutros

Pendiente	Símbolo	Procesos Asociados
0° a 5°	▽	Ligero lavado. Arroyada en manto.
5° a 10°	▽	Arroyada en manto, a veces, en surco. Inicio de movimientos en masa (creep), Incisión
10° a 25°	▽	Erosión lineal, arroyada en surco, movimientos en masa, soliflucción, creep (reptación), deslizamientos (flujo de barro, flujo de detritos)
25° a 45°	▽	Deslizamientos (flujos de barro, de detritos). Arroyada concentrada (en surco).
45° a 60°	▽	Caidas, deslizamientos (flujos de barro, de detritos). Arroyada con reguero concentrado, erosión retrocedente de cursos de agua importante.
Mayor a 60°	▽	Caidas, colapsos.



Perfil 17 entre los 800 y 900 m



Perfil 16 entre los 600 y 500 m. Depósitos producidos por flujo de barro y detritos. Tapizados por la vegetación



Perfil 16 entre los 600 y 500 m. Depósitos antiguo producido por un deslizamiento vegetado. Movimiento de creep actual en la parte baja.



Perfil 17 entre los 700 y 600 m. Vertiente cóncava.



Perfil 16 entre los 700 y 600 m. Vertiente con segmentos convexos y rectos



Perfil 16 entre los 600 y 500 m.

Figura 8.32. Tipos de vertientes y procesos asociados en el cordón Sierra de la Ventana

presencia de vegetación es menor al 25 % en la solana, donde se generan los mayores procesos de remoción. En tanto que, en la umbría la cobertura vegetal alcanza entre el 70 % y el 80 %. Por otra parte, en la figura 8.32.A se observan depósitos producidos por flujos de barro y detritos (80 % no supera los 40 cm). En la figura 8.32.B la línea roja indica un antiguo depósitos compuesto por rocas con una matriz de barro y material sedimentario grueso. Los mismos se presentan inconsolidados, sin estructura sedimentaria y los sedimentos que los componen no están clasificados.

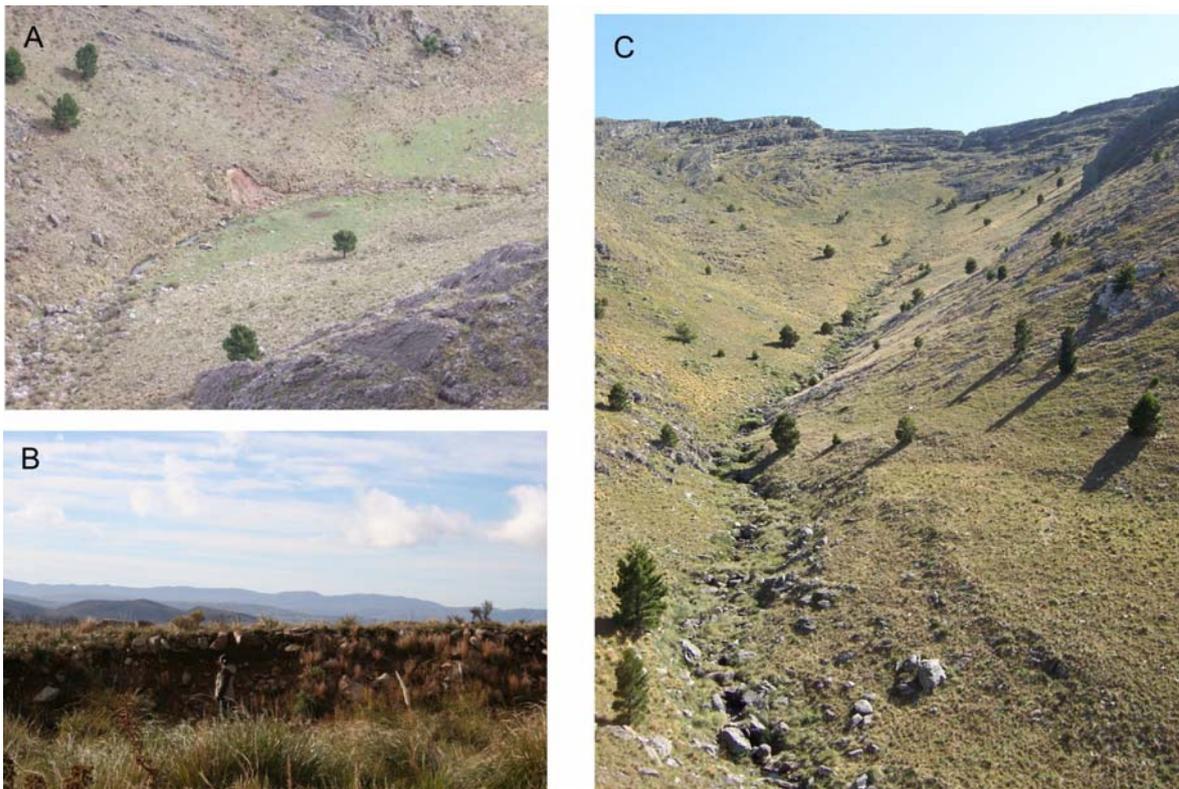


Figura 8.33. A) Deslizamiento en las vertientes cercanas a un curso de orden 2. B) Depósito sedimentario producido por flujos de detritos, corte en el sector de depositación. El mismo está disectado por nuevos cursos de agua que se activan durante las lluvias. C) Bloques depositados en los valles y en los bordes de los cursos de agua.

En resumen, la combinación de los factores hidrometeorológicos y geomorfológicos es la principal causa generadora de la dinámica de vertientes en el área de estudio. La dinámica que predomina es la combinación entre procesos de remoción en masa y el flujo generado esporádicamente por lluvias torrenciales. Los procesos de remoción aportan los bloques y el flujo de agua los moviliza hasta encontrar cambios de pendiente y ser depositados. Si bien no se poseen datos precisos de precipitación, cuando éstas son torrenciales (entre 100-200 mm/h) se producen flujos de barro y detritos que se encauzan en los cursos existentes y deslizamientos en sectores cercanos a los cursos de agua. Los materiales mayores que se encuentran tapizando las laderas son

transportados pendiente abajo y depositados en el interior o en el borde de los cursos de agua por estas corrientes de detritos y barro. Posteriormente, nuevos flujos con menor carga sedimentaria arrastran los materiales finos dejando los mayores (Fig. 8.33) La generación de la mayoría de los depósitos corresponderían al Holoceno temprano si se los correlaciona (en forma relativa) con los depósitos de cabecera de esta cuenca y la del río Sauce Chico estudiados por Rabassa (1989); Zavala y Quattrocchio (2001); Bidart, (1995, 1996); Deschamps (2003); Gil *et al.* (2008).

CAPITULO 9

DINÁMICA HIDROGEOMORFOLÓGICA DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO SAUCE GRANDE

9.1. Caracterización hidrogeomorfológica de la cuenca alta del río Sauce Grande

Según Tricart (1960) existe una relación entre los tipos de lechos fluviales, el régimen hidrológico y la dinámica fluvial. Un mejor conocimiento de estas relaciones que se establecen permite comprender el funcionamiento del sistema. Asimismo, la interdependencia de una serie de factores de diversa naturaleza genera la individualidad de cada cuenca. La misma depende del comportamiento particular de cada uno de esos factores (Campo de Ferreras y Piccolo, 1999).

La carta hidrogeomorfológica tiene como objetivo la representación de las condiciones ofrecidas al escurrimiento del agua en un espacio determinado. Se torna de esta manera en una herramienta indispensable para la interpretación del comportamiento hidrológico del espacio estudiado (Tricart, 1965; Capitanelli, 1998 y Mikkan, 2007b). Por ello, se elaboró el mapa hidrogeomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande teniendo en cuenta características hidrológicas de los terrenos, dinámica de vertientes, topografía, cobertura vegetal, tipología de cauces ([Fig. 9.1](#)). Se tomaron como base de análisis las formas del relieve definidas en la carta geomorfológica (Capítulo 8).

9.1.1. Características hidrológicas de los terrenos

“Las características hidrológicas de los terrenos están determinadas por la capacidad de infiltración y retención de las formaciones superficiales. Ambas aparecen en relación directa con la litología, granulometría, espesor de la cubierta sedimentaria y vegetal y la pendiente.” (Capitanelli, 1998: 76). En el caso de análisis se hace referencia sólo a la infiltración la cual incide, junto con otros factores, en el potencial de escurrimiento de los terrenos.

La infiltración es el proceso de entrada del agua al suelo, por lo general a través de la superficie y verticalmente hacia el interior del suelo (Osorio y Fritsch, 1978). Si bien existen ensayos de infiltración para la cuenca del río Sauce Grande (Luque, 2007) en el caso de estudio se realizaron muestreos de infiltración para cada una de las formas de relieve representando las texturas definidas en el capítulo 5. Sólo se muestreó en las cuencas del arroyo del Oro, El Negro, Horqueta del Sauce y San Bernardo. Se utilizó el infiltrómetro de doble anillo, el cual fue proporcionado por el Instituto Argentino de

Oceanografía (Fig. 9.2). Con este instrumento se mide la infiltración vertical en un tiempo determinado. El empleo de esta técnica permite inferir, además de la velocidad de infiltración promedio, la potencialidad de escurrimiento que posee la unidad de muestreo. Asimismo, se superpuso con el mapa de grupo hidrológico de suelos (Capítulo 5) y se lograron consignar características dinámicas ante la presencia de agua.



9.2. Ensayos de infiltración. Instrumento: infiltrómetro de doble anillo.

Se identificaron dos casos diferenciados, un área de rocas coherentes y que coincide con los sectores serranos y la otra corresponde a sectores de piedemonte donde se observan diferentes espesores de la cubierta sedimentaria.

9.1.1.1. Áreas de rocas coherentes

Estas áreas comprenden en forma general y para la escala de trabajo dos grandes grupos que se corresponden con los Grupos Ventana y Pillahuincó analizados anteriormente. En algunos sectores se desarrolla un suelo muy somero que no supera los 27 cm y su textura es franco-arcillosa. Poseen en general una infiltración de baja a baja -

media y esto está directamente relacionado con el grado de diaclasamiento. Asimismo, el potencial de escurrimiento es alto principalmente ante lluvias torrenciales. Se realizaron mediciones de densidad de diaclasamiento en los sectores de rocas que afloran en superficie (Fig. 9.3). Se determinaron valores promedio entre los 3,5 m/m² y los 8,2 m/m². Los cuales son valores altos comparativamente con otros sectores analizados por Campo de Ferreras (1999) y similares a los analizados por Rossello y Massabie (1981) para las formaciones Lolén y Sauce Grande. Esto permitió diferenciar dos grupos que componen el sector del macizo antiguo.



Figura. 9.3. Diferentes grados y formas de diaclasamiento para los afloramientos rocosos que componen el Sistema de Ventania.

9.1.1.2. Áreas con cubierta sedimentaria

Estas comprenden el sector de piedemonte y se las diferenció teniendo en cuenta el espesor de la cubierta sedimentaria. En estas áreas se desarrollan mayormente los suelos

Hapludoles y Argiudoles típicos. Se distinguen áreas con más de 3 m de cubierta sedimentaria (coincidentes con las acumulaciones aluviales), áreas entre 1 y 3 m de espesor (coincidentes con acumulaciones aluviales, bajadas y conos aluviales) y áreas con menos de 1 m de espesor (coincidentes con el área de pedimentos) (Fig. 9.4). Se obtuvieron datos de infiltración del orden de los 0, 25 cm/min a los 0,4 cm/min en zonas asignadas con baja infiltración y entre los 1 cm/min y los 1,6 cm/m en áreas asignadas con media capacidad de infiltración. Debido al método empleado las áreas cultivadas no fueron muestreadas por lo cual la capacidad de infiltración fue realizada sobre la base de la textura de los suelos y grupos hidrológicos. Por ello, la cubierta sedimentaria con espesor mayor de 3 m queda caracterizada con una infiltración alta.



Figura 9.4. Sectores de muestreo con media y baja capacidad de infiltración (fotografías tomadas por la autora).

9.1.2. Características de los cauces

Se diferenciaron 3 tipos de cauces, los cauces de fondo en v, los cauces de fondo plano con barrancos a ambos lados y cauces de fondo plano con barrancos alternados en las márgenes.

Los cauces de fondo v se encuentran principalmente donde afloran las rocas del sistema serrano y corresponden a los cursos de jerarquía 1 y 2. Los mismos en algunos casos llegan a formar cañadones profundos (Fig. 9.5a y b) y poseen una llanura inundable pequeña hasta en algunos casos inexistente. Recorren zonas con elevadas pendientes y cuando llegan al piedemonte comienzan a incidir sobre el material sedimentario y excavan su cauce formando barrancos entre 0,5 y 2 m (Fig. 9.5.c). Pasan a la zona de acumulaciones aluviales donde su fondo es plano y poseen barrancos alternados entre las márgenes. Las mismas alcanzan alturas de hasta 6 metros (Fig. 9.5.d y e). Esta profundización es relativamente reciente y deja descubierto depósitos conglomerádicos y arenosos finos que

conforman las barrancas de los cursos y se le asigna edad Pleistoceno medio – Holoceno (Zabala y Quattroquio, 2001). Cuando el curso principal del río Sauce Grande toma orden 5 y 6 es controlado por las diferentes litologías subyacentes y por la zona de contacto entre la formación Lolén y Sauce Grande (Bidart, 1987). Este control litológico genera en algunos sectores meandros encajados y cambios bruscos de dirección. La mayoría de los cursos, una vez que discurren sobre material sedimentario, poseen dentro de sus cursos vegetación tanto arbustiva como arbórea y discurren en forma sinuosa dentro de la misma llanura inundable (Fig. 9.6).

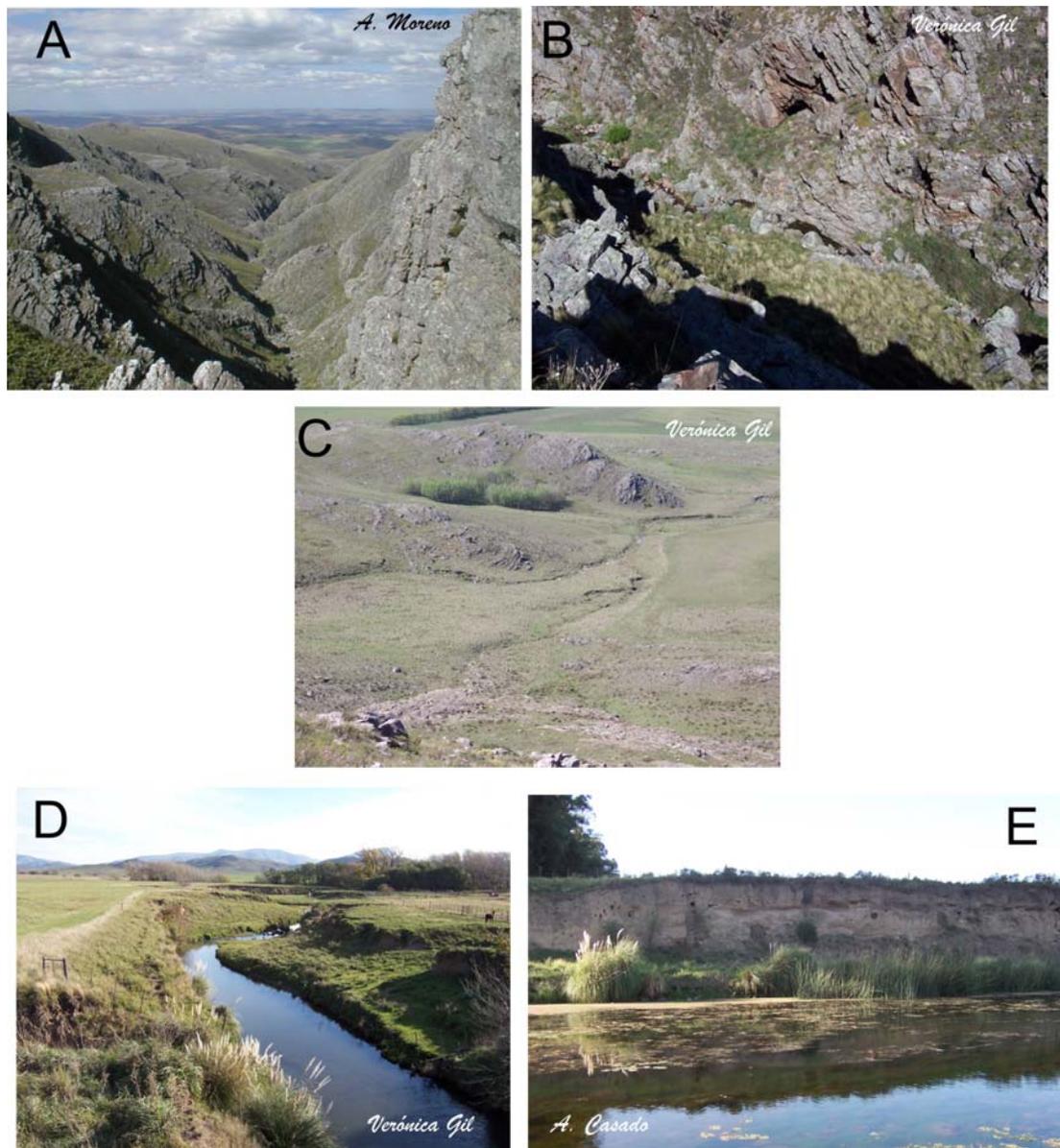


Figura 9.5. Características de los cauces. A.) cauce con fondo en v. B) cañadón en el sector serrano. C) cauce de fondo plano incisión leve. D y E) tipos y alturas de barrancas en sectores de acumulaciones aluviales.

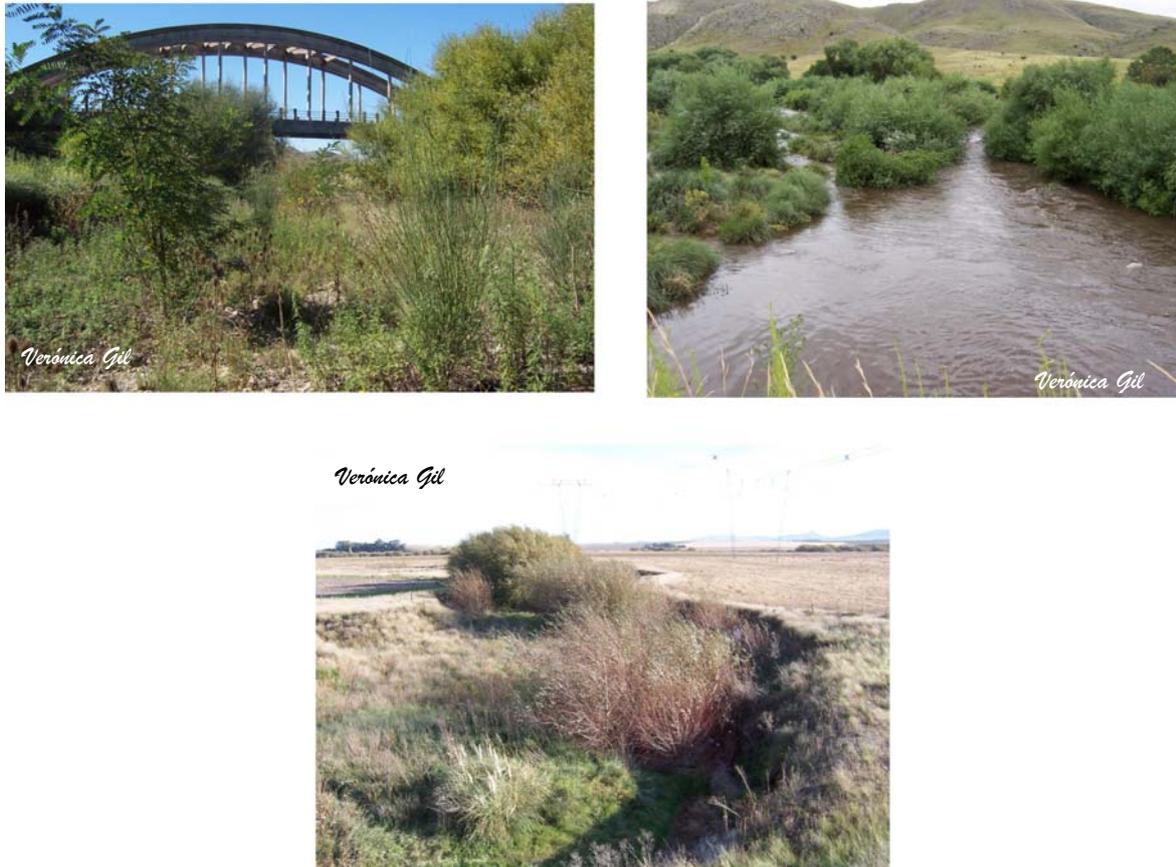


Figura 9.6. Vegetación arbustiva y arbórea en los cauces.

Por otra parte, el material sedimentario disminuye su granulometría hacia la desembocadura. En la zona de piedemonte cercana a los cursos se encuentran grandes bloques y en menor proporción material fino. Estos son depositados por grandes crecidas y posteriormente, cuando la capacidad de transporte disminuye, el material fino es removido. En el caso de los cursos de agua con fondo plano, donde los mismos atraviesan sedimentos aluviales poco potentes, se encuentran fondos con sedimentos del tamaño grava y arena.

Si se recorre el curso principal del río Sauce Grande, se encuentran sectores donde el material de fondo varía entre grava y arena y otros donde son grandes bloques y gravas las que tapizan el fondo. Esto puede deberse al aporte sedimentario de los diferentes tributarios que drenan pendientes mayores y depositan el material aluvial cuando esta cambia al entrar en el curso principal.

9.1.3. Tipos de escurrimiento

En la cuenca alta del río Sauce Grande existen dos tipos de escurrimiento: el efímero y el intermitente. Este está directamente relacionado con la cantidad de precipitaciones y con la posición de las napas freáticas en las distintas épocas del año (Fig. 9.6). La mayoría de los cursos de agua son efímeros, esto es que dependen de las precipitaciones. Mientras que los cursos principales que son intermitentes llevan agua durante todo el año, salvo en años donde se producen grandes sequías. En esos casos los mismos llegan a estar secos durante el tiempo que tarda la napa en saturarse nuevamente.

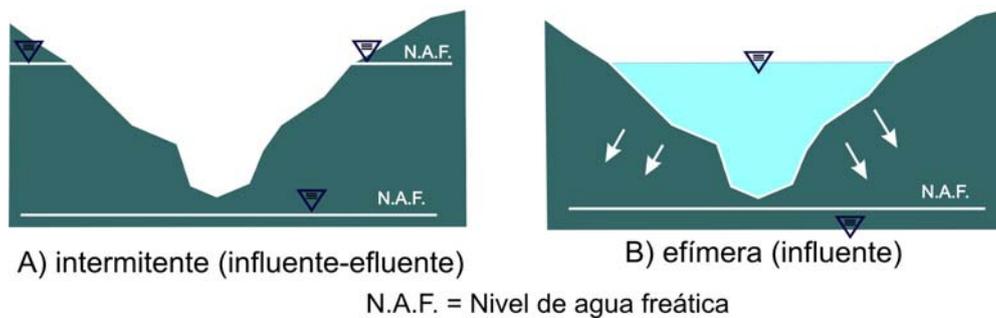


Figura 9.7. Tipos de corrientes de agua características del área. Modificado de Aparicio Mijares (1999).

9.1.4. Procesos y dinámica de vertientes

Si bien éstos se detallaron con mayor profundidad en el capítulo 8, aquí cabe destacar el comportamiento del agua en los interfluvios hasta llegar a encauzarse y formar un escurrimiento. Se distinguen zonas con escurrimiento difuso o laminar. Este escurrimiento, que se da como una fina lámina de agua que se desplaza por la superficie es fundamentalmente erosivo y arrastra el material fino en su paso.

En los sectores donde el escurrimiento es por arroyamiento difuso, se utiliza la técnica de cultivos en terrazas, es decir, respetando las curvas de nivel, la cual es aconsejada para campos con pendiente, debido a la necesidad de retener agua para que no se produzca el lavado del suelo. Cuando esta técnica no es empleada o se realizan prácticas de pastoreo se producen sectores con formación de regueros.

9.1.5. Porcentaje de vegetación

“El efecto de la vegetación sobre la hidrología fluvial presenta mayores dificultades para su evaluación, en cuanto puede actuar interceptando las precipitaciones y la insolación o bien mediante la transpiración del agua que absorbe el suelo, y estas variables dependen del tipo de formación fitogeográfica y del grado de cobertura sobre la superficie de la cuenca” (Bruniard, 1992: 44)

Se estimó el grado de cobertura vegetal sobre la base de fotografías aéreas y trabajo de campo y se dividió la misma en porcentajes de cobertura. Se distinguieron, separados de esta clasificación, los sectores donde la vegetación arbórea introducida cubre un 70 % o más. Este es el caso de las áreas urbanizadas y la zona de cultivos ya que dependiendo del ciclo de cultivo están o no con cierto grado de cobertura. En general en las nacientes de los cursos coincidiendo con los sectores serranos se conserva la flora nativa, representada fundamentalmente por especies herbáceas.

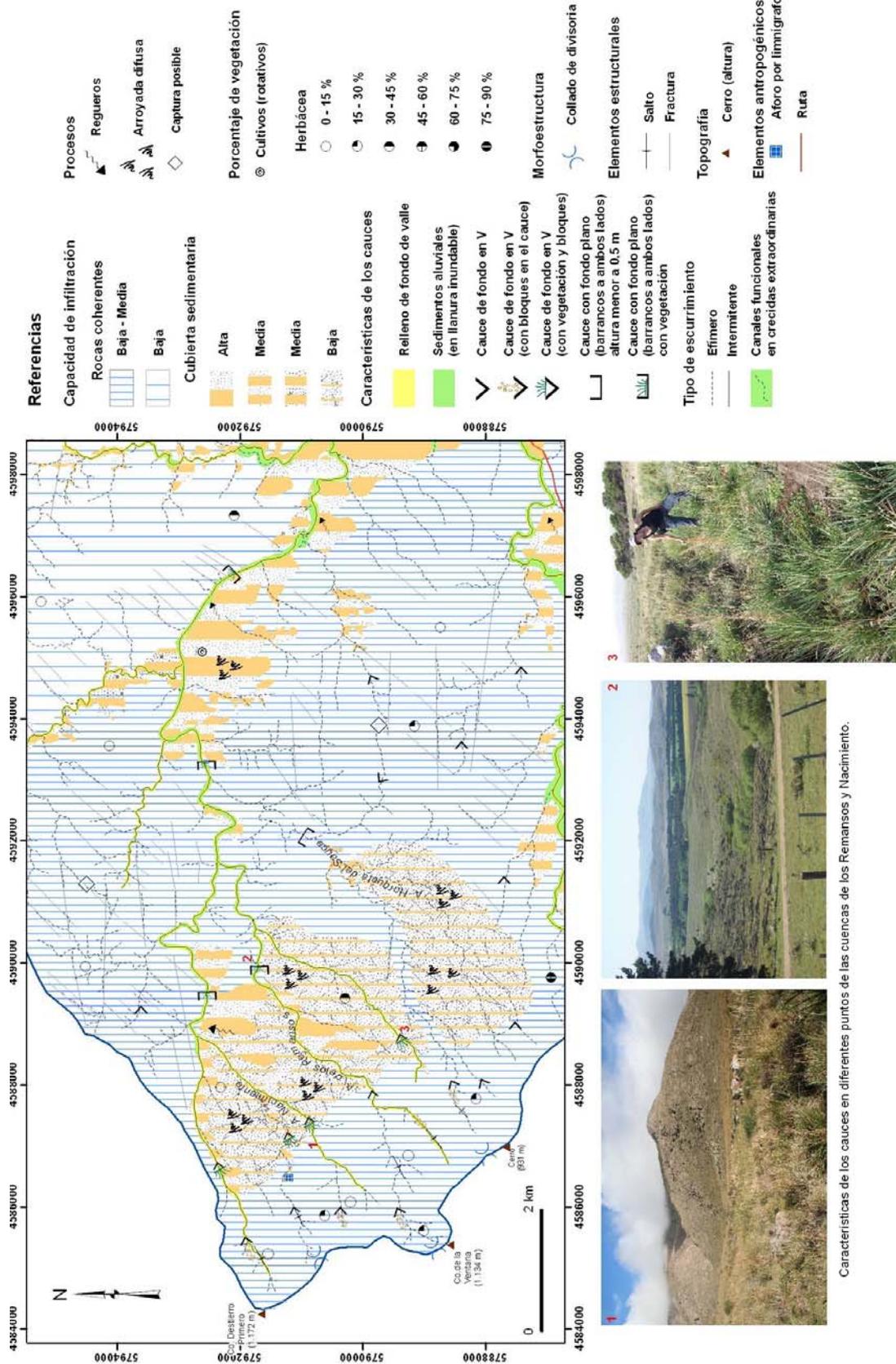
La unidad donde las comunidades vegetales se empobrecen coincide con la de mayor pendiente siendo nulo el desarrollo de la misma en la divisoria de aguas y zonas rocosas. A medida que se desciende en altura y sobre sectores con sedimentos modernos se aprecia una mayor cobertura.

9.2. Caracterización hidrogeomorfológica de dos cuencas representativas en laderas opuestas

Se realizaron los mapas hidrogeomorfológicos de dos sectores representativos del cordón Pillahuincó y Sierra de la Ventana. Estos cordones como se estudió a lo largo de esta investigación presentan condiciones de litología, pendiente, altura, etc. que le confieren dinámicas diferentes a las cuencas que nacen en ellos. Por esto, se tomaron como representativas dos cuencas las cuales poseen índices morfométricos y comportamientos de caudales que le confieren peligrosidad de generar crecidas ante eventos de lluvias torrenciales.

9.2.1. Hidrogeomorfología del sector de nacientes del río Sauce Grande

El sector de nacientes del río Sauce Grande comprende las cuencas del arroyo Nacimiento o Destierro Primero, de los Remansos y Horqueta del Sauce (Fig. 9.8). Los



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las fotografías aéreas, escala 1:20.000 y relevamiento de campo, Año 2009

Figura 9.8. Mapa hidrogeomorfológico del sector de nacientes del río Sauce Grande.

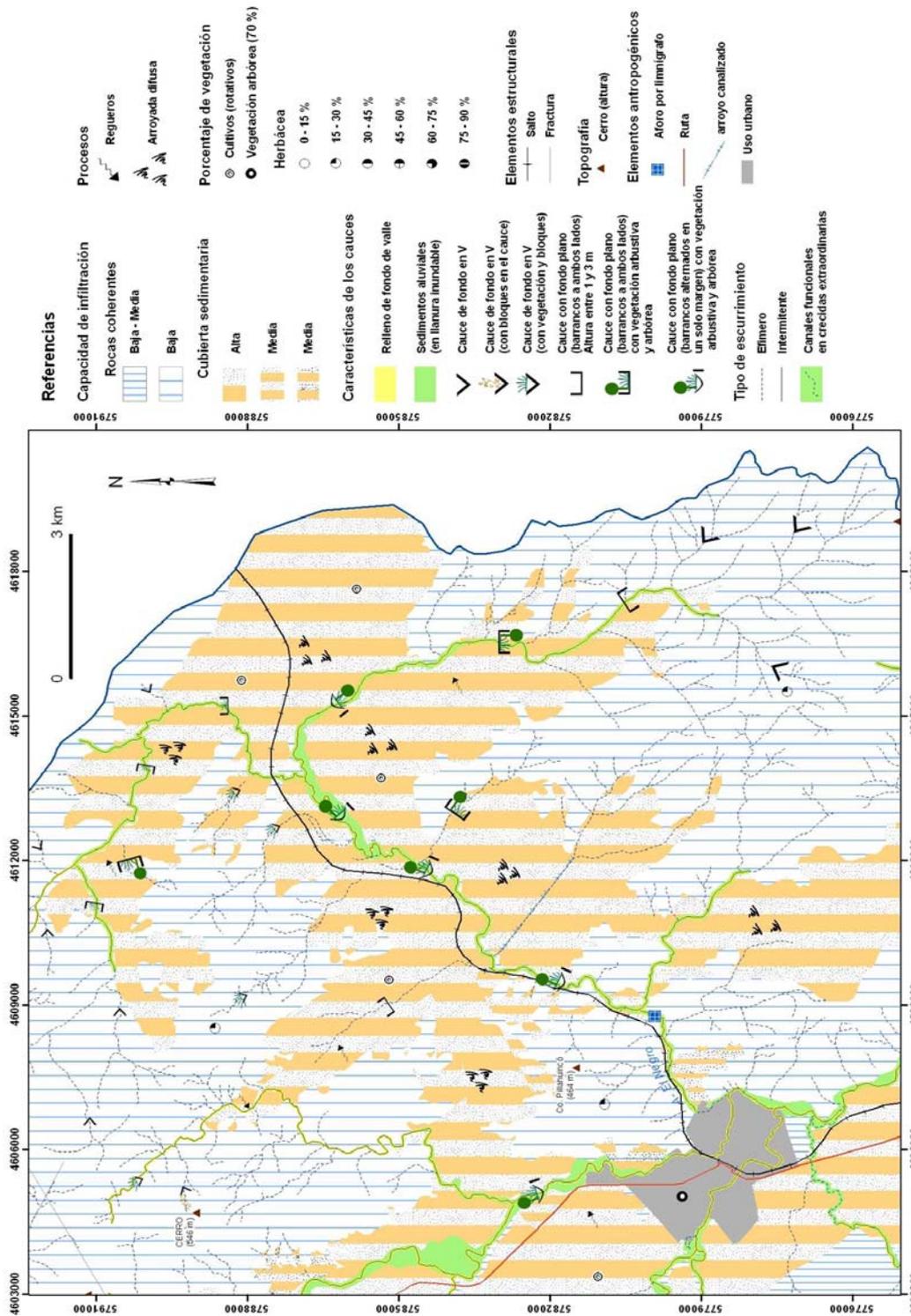
mismos nacen en sectores elevados del cordón Sierra de la Ventana entre 1.172 y 931 m de altura. La capacidad de infiltración corresponde a lo explicado anteriormente en el apartado 9.1. La particularidad de este sector es que posee la mayor superficie con una infiltración baja – media (rocas coherentes) y media a baja (cubierta sedimentaria) lo cual favorece a la generación de escurrimiento superficial. La misma comprende en la parte alta los sectores de afloramiento rocoso con grandes pendientes mientras que en los sectores de piedemonte se desarrolla sobre sectores de crestas.

Al ampliar la escala se pueden detallar mejor las características de los cauces como así también las zonas con procesos erosivos y cubierta vegetal. Se distinguieron cauces con fondo en v, algunos con bloques en los cauces y otros con vegetación y bloques. Saliendo de los sectores caracterizados por los pedimentos y zona de crestas los cursos comienzan a ser más profundos, poseen fondo plano y los barrancos no sobrepasan, en general, los 0,5 m. Una vez que estas cuencas se unen formando el curso principal del Sauce Grande los barrancos comienzan a tomar mayor altura y la presencia de vegetación es abundante dentro del cauce.

En el área aflora mayormente la formación Lolén caracterizada por morfologías en cresta y elevado fracturamiento. Por ello se han encontrado sectores donde por erosión retrocedente de los cauces se pueden generar posibles capturas. El trazado de la red de drenaje se relaciona con la estructura y con la inclinación del terreno. De esta manera se generan cursos longitudinales o transversales, depresiones y cursos ortoclinales, cataclinales y anaclinales.

9.2.2. Hidrogeomorfología de la cuenca del arroyo El Negro

La cuenca del río El Negro tiene su nacimiento en el sector Sur del cordón Las Tunas y en el sector Norte del cordón Pillahuincó, es la que posee mayor área de todas las sub-cuencas analizadas en esta tesis. El río nace a alturas entre 600 y 450 m. Discurre mayormente sobre acumulaciones aluviales con una potencia de sedimentos de más de 3 m (Fig. 9.9). La inclinación de las pendientes en este sector disminuye (Fig. 9.1) así como las alturas en general. Por otra parte, el sector serrano posee una baja capacidad de infiltración mientras que el resto de la cuenca posee una alta capacidad de infiltración. Una particularidad de estas acumulaciones aluviales es que según el grupo hidrológico al que pertenecen (Capítulo 5) si bien la capacidad de infiltración es alta una vez saturados drenan con facilidad el agua según su pendiente.



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las fotografías aéreas, escala 1:20.000 y relevamiento de campo. Año 2009

Figura 9.9. Mapa hidrogeomorfológico del arroyo El Negro

Las características de los cauces son similares al sector anterior solo que aquí predominan los cauces con fondo plano y cubiertos con vegetación arbórea y arbustiva. También, los cauces de fondo en v se producen principalmente en zonas de cabecera donde hay afloramientos rocosos y en algunos casos se encuentran vegetados o con bloques en su cauce. En cuanto al porcentaje de vegetación la misma se mantiene entre el 15 % y el 30% y la zona de acumulaciones aluviales que se encuentra cultivada mayormente, depende de la época de cultivo como anteriormente se mencionó. La misma presenta sectores de arroyamiento difuso y en general no se observaron cultivos con curvas de nivel.

9.3. Caracterización morfológica de dos tramos del curso principal del río Sauce Grande

El sistema morfogenético fluvial en una cuenca comprende las formas y los procesos de modelado que son determinados por las acciones del agua superficial encauzada. Esta constituye el principal agente de modelado y su acción está controlada por distintos factores como el clima, la cobertura vegetal, los usos del suelo, sustrato geológico, etc. Una de las principales necesidades en el estudio de la geomorfología fluvial es el conocimiento morfológico de la forma, escala y dinámica del canal de aguas bajas y su relación con el cauce que lo contiene (García Ruiz *et al.*, 1987; Thorne, 1998; Marchetti, 2000;). Por otro lado, la variabilidad hidrológica (caudal ordinario anual, caudal decádico, caudal extraordinario) en cada tramo queda representada por las diferentes alturas que alcanza la lámina de agua (García Martínez *et al.*, 2008). Para la descripción cualitativa y semicuantitativa de las formas y procesos a nivel del cauce se eligieron sectores del río principal conforme a la presencia de diferentes dinámicas y morfologías y la influencia en ellos de elementos antropogénicos que inciden en el trazado natural. Una vez seleccionados los sectores se realizaron perfiles transversales, los cuales permiten determinar alturas de las aguas para diferentes caudales y la representación de las morfologías presentes en el cauce.

Los sectores elegidos son (Fig. 9.10):

Sector 1: Tramo Peralta

Sector 2: Tramo Pambianco

Como se mencionó en el capítulo 4 el río Sauce Grande se encuentra confinado por un amplio y profundo valle labrado sobre la Serie Pliocena y en menor medida

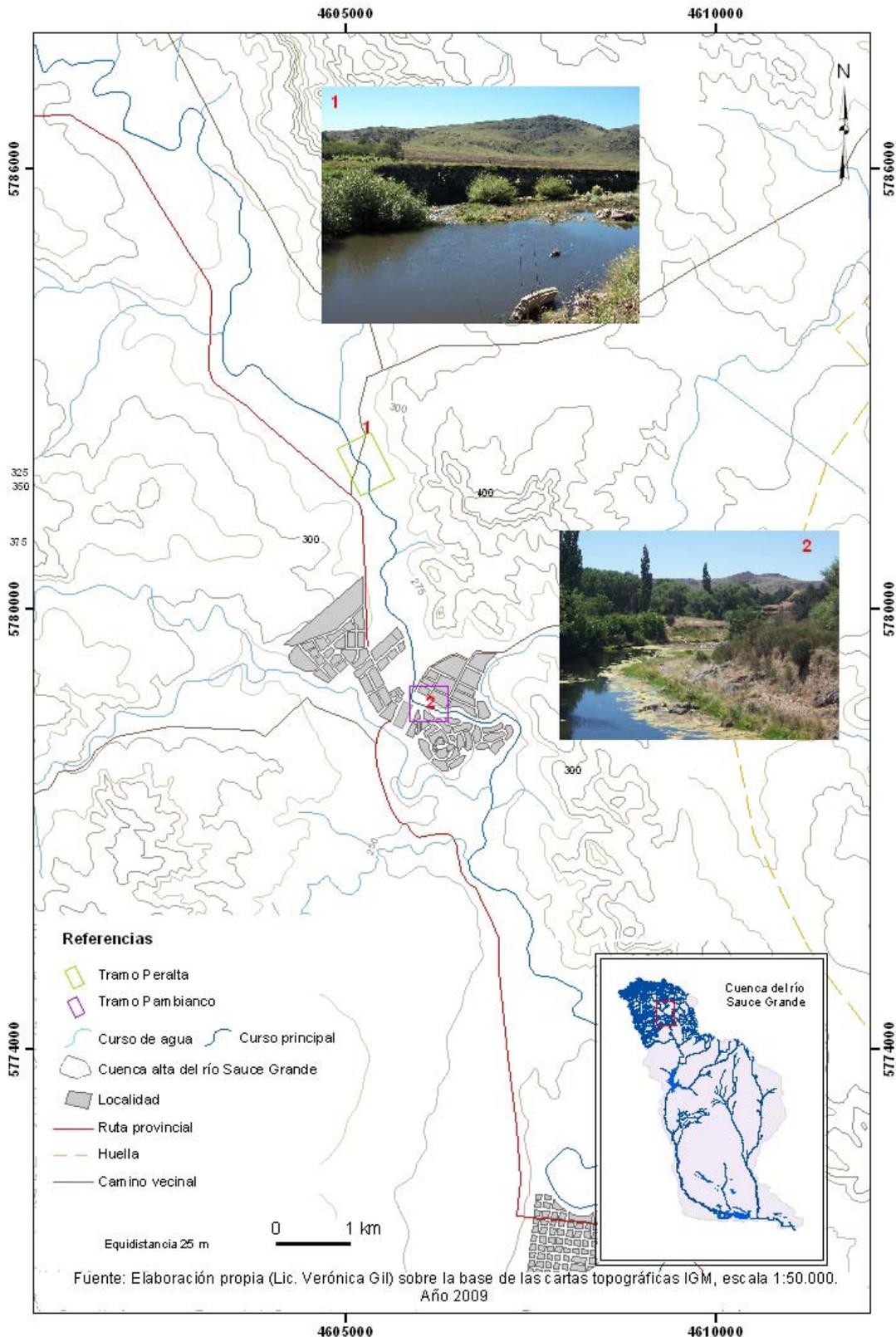


Figura 9.10. Localización de los tramos del curso principal de río Sauce Grande para el análisis morfológico.

sobre rocas Paleozoicas. Los depósitos, acumulados durante el intervalo Pleistoceno temprano – Holoceno, forman terrazas fluviales que revelan tres episodios de incisión y relleno del valles. El paisaje que caracteriza las cercanías de los tramos de observación es casi exclusivamente rural, con campos de cultivo desarrollados sobre los valles y en algunos casos sobre los faldeos de las sierras. A lo largo de las márgenes del río, en el sector 2, se asienta la localidad turística de Sierra de la Ventana.

La llanura de inundación se compone principalmente de sedimentos que varían en su granulometría. Se encuentran desde arenas (0,06-2 mm) hasta cantos rodados y bloques (25, 6–50 cm) cuya forma es en general irregular. Los desprendimientos de suelo, *soilfall*, se producen en todos los tramos principalmente donde el canal tiene su punto de inflexión y sobre las barrancas que no están vegetadas. Los mismos ocurren principalmente durante las horas posteriores a una crecida del río. Entre ambos tramos analizados, la pendiente en línea recta es de 0,51 % y el índice de sinuosidad es de 1,36.

Las márgenes son asimétricas y presentan en ambos lados pendientes diferentes. Su caracterización es de importancia ya que se puede determinar su erodabilidad, estabilidad, procesos que actúan, facilitando su manejo y protección de las mismas en casos de necesidad. Según Thorne (1998) las propiedades de los materiales que las componen se pueden tipificar en no-cohesivo, cohesivo y compuesto/estratificado. Los materiales no-cohesivos están formados por arena gruesas, guijarros, cantos rodados que no presentan una cohesión interna. Los cohesivos contienen limos y arcillas lo que le dan una mayor cohesión intrínseca al material. Las márgenes compuestas consisten en una intercalación de los materiales anteriormente mencionados. Estos son los más comunes en los ríos de toda la zona, aunque en ocasiones sólo aflora un estrato cohesivo muy potente.

La vegetación, que juega un papel importante en la hidrología del cauce y la dinámica de los sedimentos, es principalmente herbácea y en algunos sectores crecen arbustos o árboles adaptados a las condiciones de suelo. Donde la pendiente de los barrancos permite el desarrollo de especies herbáceas, no se evidencia socavamiento, zapamiento o desprendimiento de suelo. Esta vegetación reduce la velocidad del agua, refuerza el material del barranco incrementándose la resistencia a la erosión y por ende la estabilidad lateral del canal (Fig. 9.11).



Tramo Pambianco



Tramo Peralta

Figura. 9.11. Vegetación dentro del canal de crecida del río Sauce Grande en los diferentes tramos analizados.

Teniendo en cuenta la geometría en planta del canal, se pueden definir tipos básicos de ríos, rectilíneos, irregulares, meandriforme, anastomosados o braided. La diferencia básica entre ellos está dada por la presencia de uno o varios canales y el índice de sinuosidad y multiplicidad (Pedraza Gilsanz, 1996; Thorne, 1998). En el caso de estudio los dos tramos presentan condiciones similares. El canal es sinuoso a nivel de tramo mientras que si se observa el curso principal a una escala menor el cauce es irregular (Fig. 9.12). El hecho que el río presente características de irregularidad se debe a que existe una diferencial resistencia a la erosión de las márgenes.

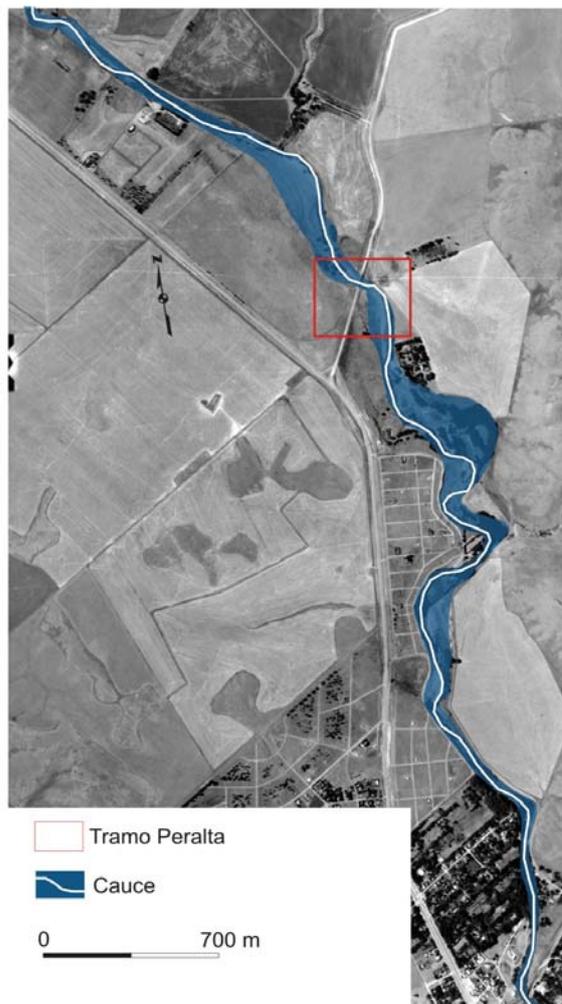


Figura 9.12. Clasificación de la forma en planta del canal y el cauce del río.

9.3.1. Características morfológicas del tramo Peralta

Existe una relación vertical entre el canal y la llanura de inundación que es de naturaleza dinámica, pasando de una etapa de relleno o agradación, a una etapa de ajuste y a otra de incisión. La determinación de estas etapas es muy compleja, pero existen algunas geoformas (terrazas, diques naturales ó *levées*, depósitos en los márgenes) que indican la inestabilidad o estabilidad de esta relación vertical (Thorne, 1998). Los depósitos cercanos al curso de agua están compuestos principalmente por arena fina y mediana. Los diques naturales (albardones) se encuentran en la margen derecha del canal. Su altura máxima en este tramo llega a 0,9 m con una pendiente transversal que varía entre los 41 % y los 50 % y algunos sectores se encuentran

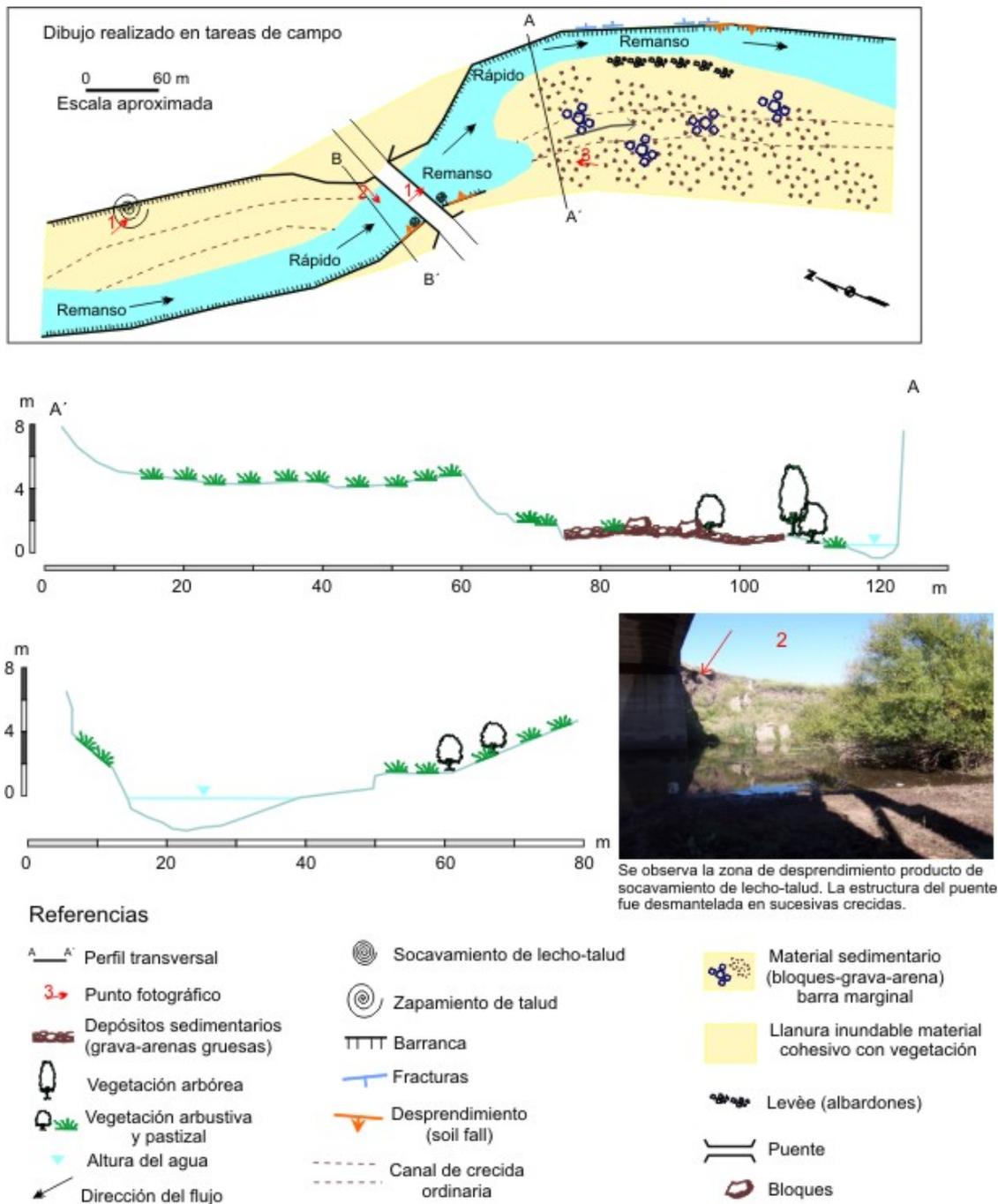
vegetados. Es de destacar la presencia de restos (*trash*) de vegetación y basura a lo largo de las márgenes y en el valle, particularmente en los árboles y arbustos que crecen allí. Estos, indican la mayor altura alcanzada por el último evento de crecida del río. Su observación y medición cobran gran importancia ya que en ríos donde no existen aforos o los mismos se rompen ante una avenida, éstos permiten una estimación de la altura alcanzada por el agua (Fig 9.13 restos indicando las diferentes alturas).



Figura 9.13. Presencia de restos indicativos de la altura del agua en diferentes crecidas del río. En la figura A, B y C se observan restos de troncos y objetos arrastrados por el flujo de agua. En la figura D se observa el achatamiento del pastizal que se encuentra dentro de la llanura inundable producto del paso del agua en el tramo de estudio. Fotografías tomadas por la autora.

También existe una relación lateral entre la llanura de inundación y el canal. Algunos de los indicadores de esta actividad lateral son la geometría en planta del canal, su evolución y rasgos topográficos en la superficie del cauce. El tramo estudiado presenta algunas irregularidades en el trazado principalmente debido a la presencia de la construcción de un puente que genera un cambio en la circulación del flujo (Fig. 9.14). El canal al estar profundizando su propio cauce presenta un trazado sinuoso como anteriormente se mencionó.

Los perfiles transversales ponen en evidencia que las márgenes son asimétricas y no presentan ninguna protección. La margen izquierda posee la mayor pendiente y se desarrollan barrancos de 6 m de alto. La vegetación herbácea se encuentra



Exposición de las raíces por zapamiento de talud



Estado del cauce.

Figura 9.14. Esquema en planta y perfiles transversales en el tramo Peralta

principalmente al pie del barranco donde las pendientes son menos pronunciadas y el contenido de humedad es mayor.

El material de las barrancas se puede clasificar como cohesivo en casi toda su extensión ya que principalmente está formado por material fino. Según Zabala y Quattrocchio (2001) los mismos son depósitos correspondientes a la sección media y alta de la Secuencia Agua Blanca (emend. De Francesco 1970), Pleistoceno medio-Holoceno. La sección media incluye depósitos arenosos de color pardo rojizo, de apariencia masiva. La sección superior, comprende sedimentos arenosos finos y pelitas color gris oscuro (Fig. 9.15). Al pie del barranco, cuando el caudal es bajo, se observa un estrato formado por guijarros y canto rodado cuya cohesión es menor.



Figura 9.15 Barranca izquierda del río Sauce Grande, donde se observa la sección media cubierta de vegetación y la sección superior de la Secuencia Agua Blanca. Corresponde al punto fotográfico 1 de la figura 9.

En este sector se presenta la mayor erosión fluvial, principalmente cuando el flujo de agua es turbulento. Se observan desprendimiento de suelo debido a la socavación de los barrancos. Se observaron fracturas de tensión que tienen mayor desarrollo vertical (de 0,5 a 1,5 m) que longitudinal (de 0,4 a 0,7 m), en la parte superior del barranco. Las mismas son activadas y erosionadas por la lluvia mientras que en épocas de escasas precipitaciones las mismas se cubren de vegetación herbácea. La presencia de estas

fracturas reducen la estabilidad de la margen izquierda en este tramo del curso (Fig. 9.16).



Figura 9.16. Colapso de material de la barranca. Sector sin vegetación, margen izquierda.

La margen derecha está mayormente cubierta de vegetación herbácea y entre los 1 y 2 m del canal de aguas bajas se encuentra vegetación arbustiva. Mayormente se encuentran en este sector material sedimentarios suelto que poseen entre 20 cm y 1 m intercalado con material fino (gravas, arenas y limos). La pendiente del terreno no supera, en sentido transversal los 10° . Por como la estabilidad es mayor y la erosión es menor que la margen izquierda (Fig. 9.17). En la actualidad, se explota un sector de la margen derecha, parte de la llanura de inundación, como cantera de cantos rodados. Esto genera una mayor disponibilidad de estos sedimentos a ser removidos e incorporados al río en futuras crecidas. Este hecho modificaría nuevamente la morfología del tramo estudiado.



Figura 9.17 Vista de las dos márgenes del tramo Peralta desde el puente. La imagen superior corresponde a un período de caudal normal y la inferior a un periodo de crecida ordinaria.

El cauce es de aproximadamente 7 m en épocas de caudal bajo, llegando a la línea de llanura inundable en las crecidas extraordinarias. La altura de la lámina de agua en épocas de crecida llega a 9 m por encima del la altura normal.

9.3.2 Características morfológicas del tramo Pambianco

Este tramo es parte del paisaje urbano que presenta la localidad de Sierra de la Ventana, con una altura de 229 msnm, se encuentra cercano al “puente viejo”, llamado Segundo Pambianco, que fue paulatinamente derribado por las crecidas, hasta que finalmente quedara sin uso. A metros de éste se realizó la construcción de otro puente en el año 1997, con una altura de 7 m. El ancho del canal de aguas bajas aquí varía entre 30 y 50 m (Fig. 9.18).



Figura 9.18. Puente nuevo que une Sierra de la Ventana con Villa Arcadia.

Los depósitos sedimentarios finos se encuentran sobrepasando las barrancas, los levées son muy espaciados y no tienen grandes dimensiones (menos de 0,5 m), encontrándose sin vegetación por lo que se destruyen con facilidad. Esto constituye también un indicador de la altura de las crecidas. No se encontró restos de vegetación y basura como indicativo de crecidas en la fecha en que se realizó el reconocimiento.

Como en el tramo anterior se analizaron algunos indicadores de actividad lateral. La geometría del canal en planta es más sinuosa y se presentan barras principalmente longitudinales en períodos de aguas bajas. Estas barras son indicadoras de una menor eficiencia hidráulica del flujo, esto también se puede observar en el tipo de sedimentos que se encuentran en el lecho del canal. Aparte de las barras longitudinales, se encontraron centrales y semilunares (Fig. 9.19). De las dos barras longitudinales una presenta vegetación lo que indica una menor movilidad de la misma (b) mientras que la otra no está vegetada y es la que cambia constantemente su forma (a). Las barras semilunares que se encuentran en este tramo, indican un crecimiento de la zona externa del meandro y por consiguiente, un retroceso del escarpe que en este caso es sobre la margen derecha del río. Estas barras se encuentran aguas abajo del puente Pambianco, por lo cual se infiere el accionar del puente sobre la dinámica hidráulica del sector.

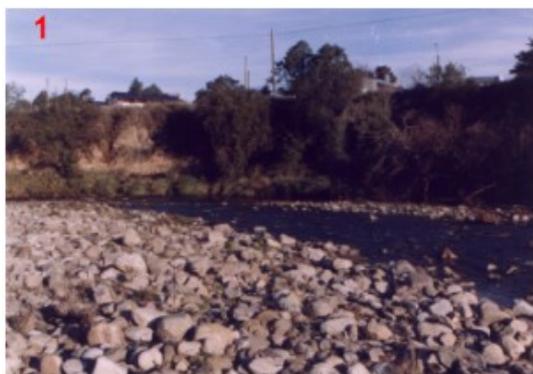
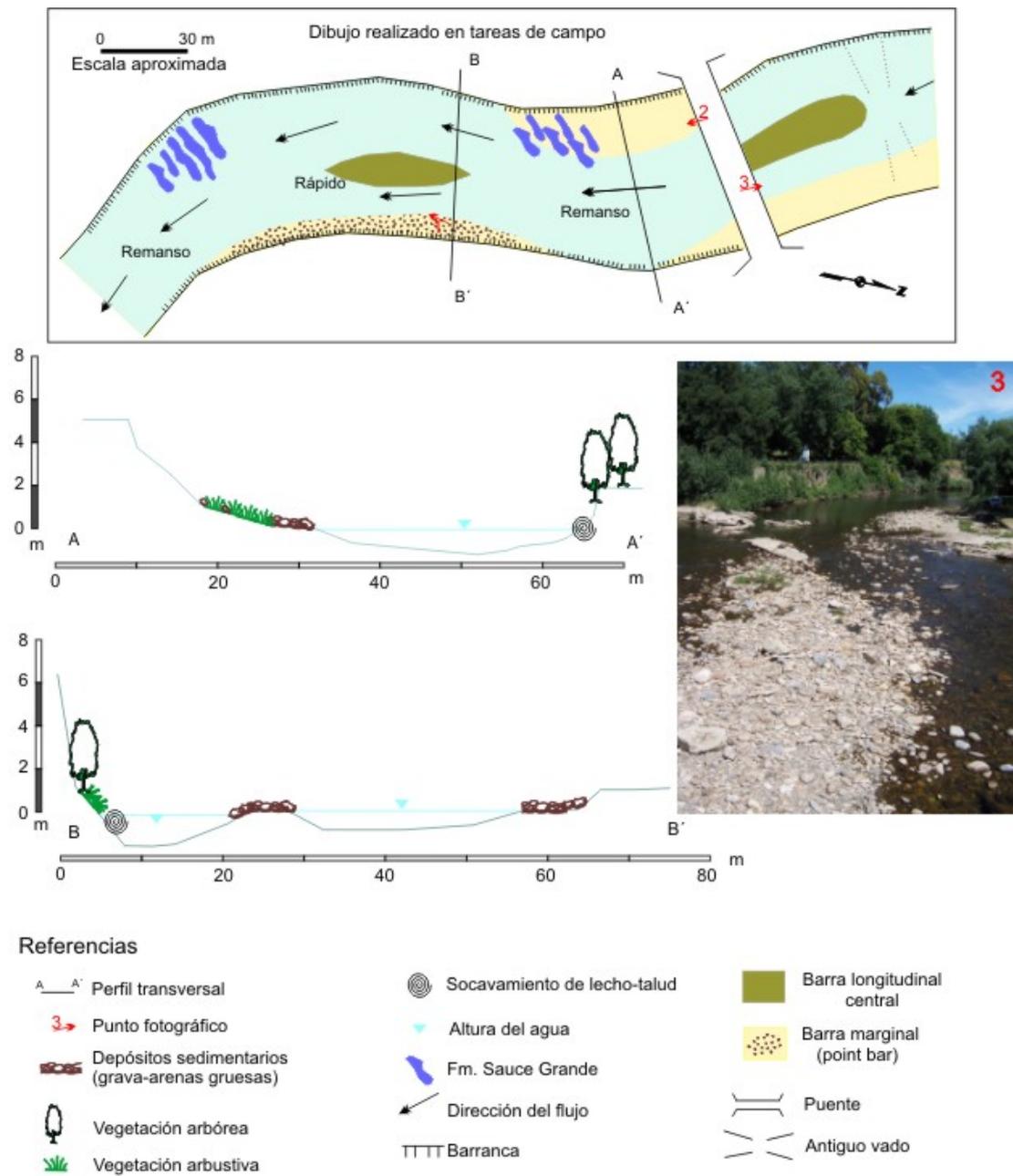


Figura 9.19. Esquema en planta y perfiles transversales en el tramo Pambianco



Figura 9.20 Intercalación de gravas y arenas en la margen izquierda.

En los perfiles A-A' y B-B' se puede observar que las márgenes son también asimétricas y no presentan ninguna protección, pero están mejor definidas que en el tramo anterior. La izquierda presenta pequeños barrancos desde 70 cm a 1,5 m de alto, no hay vegetación herbácea en el barranco. Principalmente está constituido por intercalación de arenas con gravas y guijarros de edad Holocena, cuando el río tiene mayor caudal estos bordes son muy activos (Fig. 9.20).

La margen derecha, en este tramo es la que presenta mayor altura, en promedio alcanza los 12 m mientras que la pendiente es pronunciada y con un ángulo entre 70-90°. Los

depósitos pertenecen a la Secuencia Agua Blanca, citada anteriormente. El mismo se presenta vegetado en los sectores donde la pendiente disminuye. En este caso la vegetación es arbórea, mientras que en otros sectores predominan los arbustos y pastizal (margen izquierda). Los árboles se encuentran en la parte baja del barranco y sobre él, su altura varía entre los 5 y 7 m y las raíces están expuestas, lo cual indica una erosión lateral del río sobre la margen. Sobre la base a estas observaciones se infiere que la erosión se produce principalmente cuando el río incrementa su caudal generando zonas de zapamiento de taludes, en aguas bajas se generan zonas de socavamiento en los sectores externos de las inflexiones del canal, coincidiendo con material cohesivo fino.

De la caracterización de estos dos tramos elegidos en una distancia de 4 km y cercanos a dos puentes importantes en la zona, se desprende que ambos presentan características morfológicas diferentes. La presencia de barras, unas vegetadas y otras no, en la parte media de la corriente en el tramo Pambianco, revela una disminución de la eficiencia hidráulica en épocas de estiaje. Si bien las márgenes son asimétricas en ambos tramos sus alturas varían, esta diferencia de altura también se da entre margen izquierda y derecha en un mismo sector. La presencia de mayores sectores con fracturas en las márgenes en el tramo Peralta, indica una mayor actividad lateral del río.

En los casos analizados tienen gran importancia los sucesos de avenidas, relacionados directamente con las características de precipitación presentes en la cuenca. Los mayores cambios en la morfología de cauce se producen durante estos eventos hidrometeorológicos. De las características presentadas se desprende que los procesos erosivos se activan fácilmente durante períodos de crecidas ordinarias, en las cuales la altura del río aumenta entre 0,5-2 m aproximadamente. Mientras que durante crecidas extraordinarias (7-10 m) la morfología de los canales es modificada en ambos lugares.

Las lluvias torrenciales desencadenan esporádicamente crecidas o avenidas que se caracterizan por su alta capacidad energética pudiéndose observar por los procesos de transporte y sedimentación que se generan en la llanura de inundación de los arroyos y ríos. Esta dinámica tiene consecuencias negativas en los sectores poblados cercanos a los cursos de agua por lo que los estudios morfológicos adquieren importancia para ayudar a la gestión y manejo de estas áreas inestables.

CAPITULO 10

ANALISIS DE LA EXPOSICIÓN Y EL PELIGRO DE CRECIDA

10.1. ¿Qué son las crecidas? Análisis de las mayores crecidas del río Sauce Grande en los últimos 100 años

Las crecidas o avenidas (*flash flood*) son episodios temporales con caudales anormalmente altos que se registran en un punto o tramo del curso y se generan periódica o excepcionalmente. Su formación se produce como respuesta del sistema fluvial a un aporte cuantioso de agua, en este caso precipitaciones extremas. Desde el punto de vista geomorfológico es importante conocer sus causas, intensidad, evolución, frecuencia, ya que suelen asociarse con importantes modificaciones del cauce. Corresponden a los llamados ajustes morfodinámicos que producen variaciones o no en el trazado de los canales, disposición de los sedimentos o alteraciones en el lecho (Pedraza Gilsanz, 1996). Por otra parte, Camarasa Belmonte (2002) explica que en una crecida fluvial extraordinaria, el agua ocupa la llanura inundable, construida a lo largo de los años por el propio sistema fluvial precisamente para absorber el impacto de las avenidas. En la figura 10.1 se pueden visualizar los componentes de un perfil transversal de un valle fluvial desde las diferentes disciplinas. En esta tesis se tomaron los conceptos de cuenca hidrográfica más los conceptos relacionados a la morfodinámica del valle fluvial.

Durante las crecidas, el caudal circulante modifica variables hidráulicas ante la necesidad de evacuar o almacenar temporalmente los mayores caudales y durante menos tiempo. Para ello precisa aumentar su sección o variar la velocidad media y su distribución. (Pedraza, 1996). En el caso de estudio cuando existe un excedente de agua en el sistema, la intensidad de la lluvia en tormentas aisladas favorece a la formación de avenidas. Aquí se conjugan las condiciones hídricas, las características físicas (pendiente, litología, vegetación) y la morfología de la cuenca (Casado *et al.*, 2007).

Como se ha mencionado en capítulos anteriores, la información de caudales es dispersa y se concentra en los últimos años. Esto no permite realizar un estudio hidrológico detallado, caso de estimación de los períodos de retorno de caudales punta que generan desbordes en los ríos. De todos modos la información periodística y estudios de autores como Posadas (1944) y Scheffer (2004) se pueden establecer años en los que el río Sauce Grande experimentó crecidas ordinarias y extraordinarias. Entre ellas, la mayor registrada hasta la actualidad fue la del año 1944. Casi 60 años después (2003) se produjo una crecida

extraordinaria con las mismas características, afectando nuevamente a la población localizada a su vera. La variabilidad hidrológica en esta cuenca está determinada por el clima de la región donde la variabilidad de las precipitaciones en ocasiones llega a ser extrema (Fig. 10.1.B). Se destaca que las fotografías fueron tomadas desde el mismo punto en cuatro períodos de precipitación.

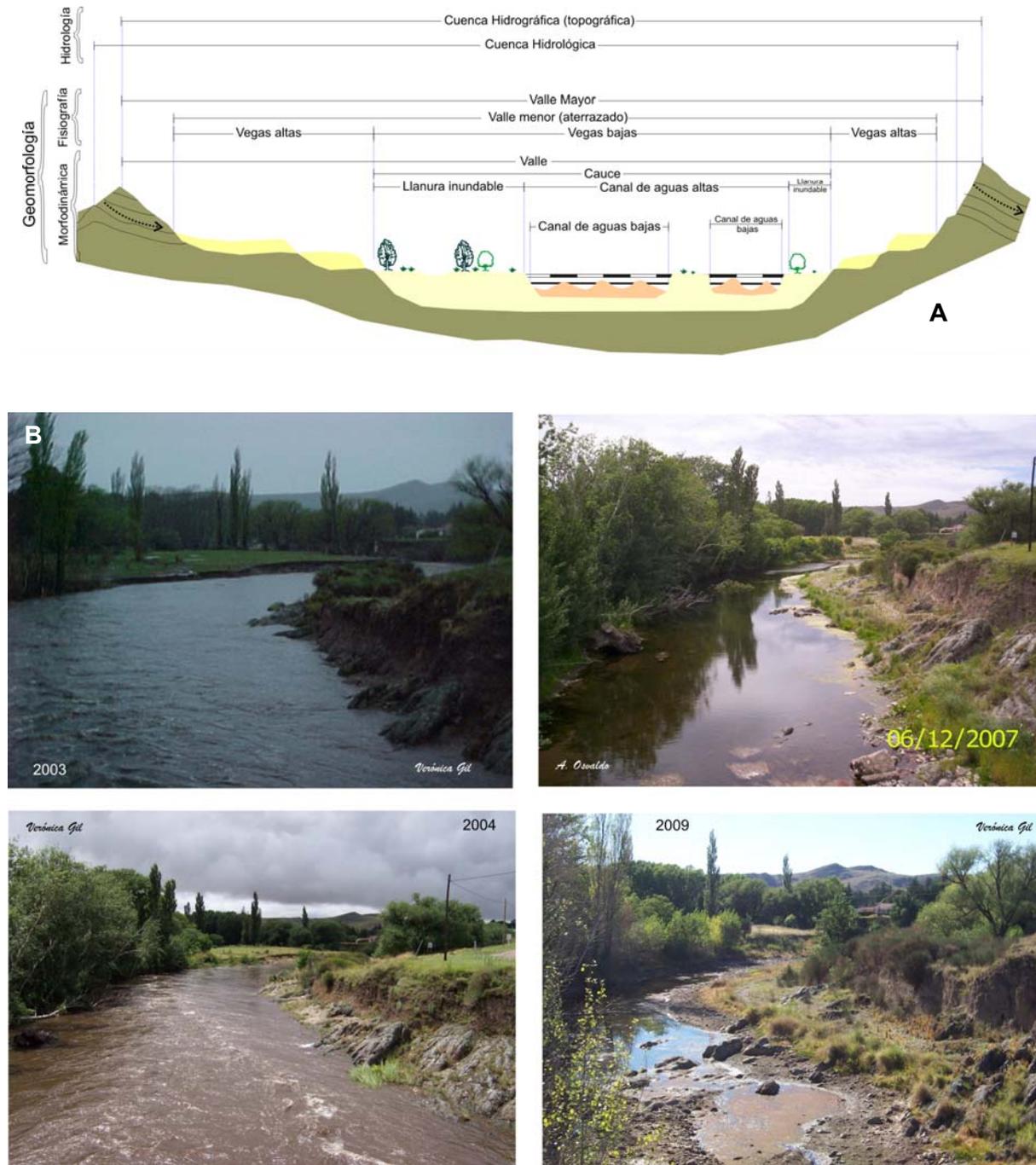


Figura 10.1. A. Componentes del perfil transversal de un valle fluvial. Fuente: Modificado de Pedraza (1996). B. Fotografías ilustrativas de la variabilidad hidrológica del río Sauce Grande para diferentes años.

Inundación torrencial en la localidad de Sierra de la Ventana

Caso 1

Crecida del río Sauce Grande, día 7 de abril de 1944

Victimas: 25 personas muertas.

Inundación: Torrencial (flash flood), desbordes e inundación en varios sectores de la localidad de Sierra de la Ventana. En proximidades de la localidad serrana de Sierra de la Ventana confluyen en el río Sauce Grande, la cuenca del arroyo El Negro y la cuenca del arroyo San Bernardo. También se inundaron sectores de la localidad de Saldungaray y se contabilizaron numerosos campos inundados (Fig. 10.2)

Zonas más afectadas de la localidad: Principalmente Villa La Arcadia.

Cuenca: Cuenca del río Sauce Grande (2.195,6 km²). No existía el dique Paso de la Piedras. Los efectos se extendieron hasta la ruta N° 3 en la cuenca media-baja.

Hidrología: Caudal medio de la cuenca: 3,4 m³/s; Caudal estimado para el pico de crecida máximo en el río Sauce Grande: más de 1.950 m³/seg (aforo ExToma). Caudal estimado para el arroyo El Negro: 750 m³/seg.

Meteorología: Lluvias torrenciales, se registraron 124 mm entre las 19:30 h del 6/10 y las 8 h del 7/10 y 160 mm en la noche del 7/10 según información periodística local. No se encontró disponible información meteorológica de esa fecha. Posadas (1944) realizó un mapa de isohietas con datos cedidos por el Ferrocarril Sur demostrando la concentración de la lluvia que produjo la crecida de 1944 en el sector serrano. La misma llegó a valores extremos de 300 mm (Fig. 10.3).

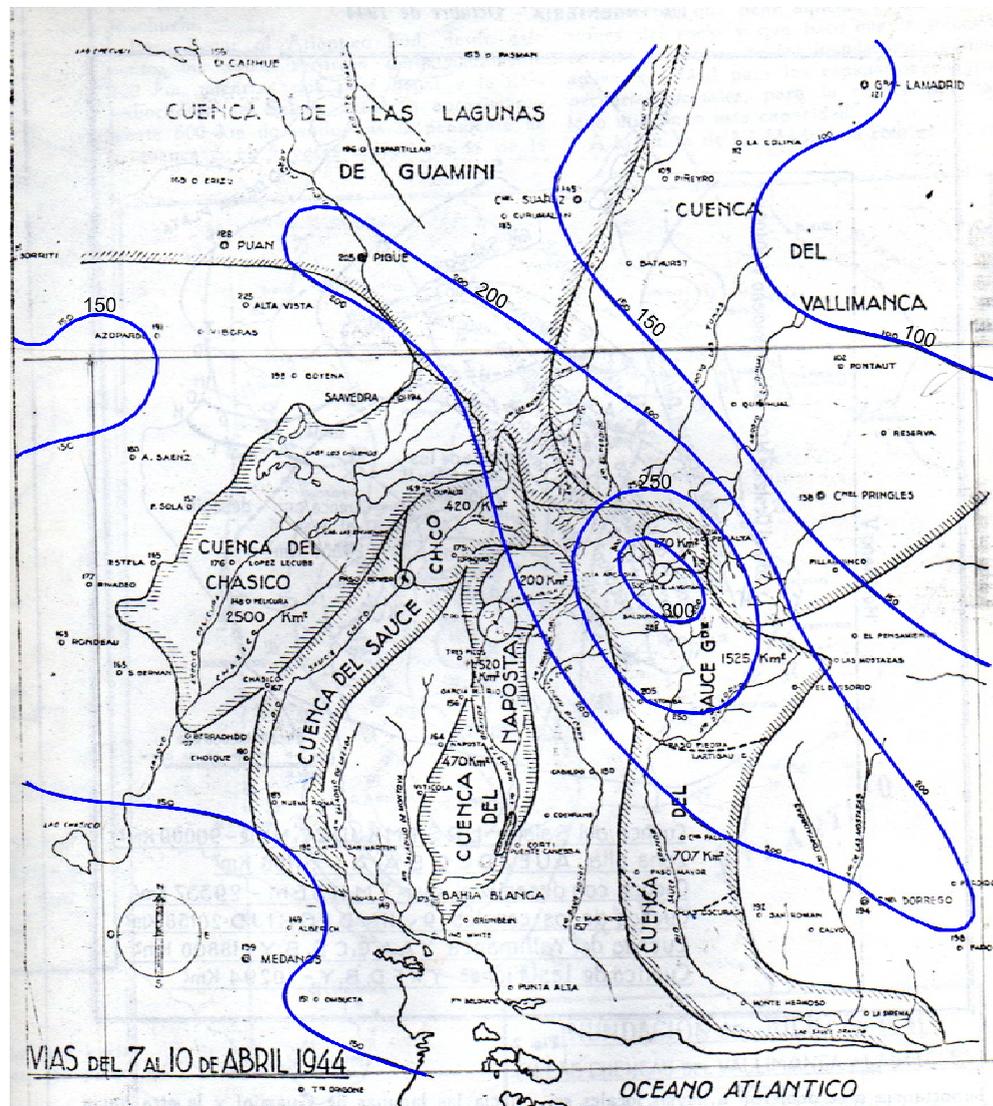


Figura 10. 3. Mapa de isohietas para la tormenta del 6 y 7 de abril de 1944 elaborado por Posadas (1944).

Inundación torrencial en la localidad de Sierra de la Ventana
Caso 2
Crecida del río Sauce Grande, día 7 de octubre de 2003

Victimas: Sin víctimas mortales. 180 evacuados.

Inundación: Torrencial (flash flood), con taponamientos de cauces debido al sedimento y vegetación movilizadas en el sector La Hoya. Desbordes e inundación en varios sectores de la localidad de Sierra de la Ventana por flujo no confinado (sheet-flood) a la medianoche. La lámina de agua en flujo no confinado alcanzó el metro de altura y en algunos sectores los dos metros (Fig. 10. 4) con una velocidad estimada de 3 m/s la cual se encuentra dentro del límite considerado como inundación peligrosa para las personas (Figura 10.5).

Zonas más afectadas de la localidad: Principalmente Valle Hermoso, calle Galileo Galilei, Av. Tornquist, Villa Arcadia (Fig. 10.6).

Cuenca: Cuenca alta del río Sauce Grande (1.021 km²). En este caso la regulación por el Dique Paso Piedras limitó el desborde aguas abajo del mismo.

Hidrología: Generación de flujos laminares de barro que descendieron desde las laderas sobre el sector del Cordón de Sierra de la Ventana. Dos picos de crecida en el sector del puente Pambianco debido al taponamiento del curso principal (comunicación oral del cuerpo de Bomberos Voluntarios). Caudal medio: 3,4 m³/s; Caudal estimado para el pico de crecida máximo: más de 900 m³/seg. Variación de la altura de la lámina de agua: 8-9 m (Fig. 10.7)

Meteorología: Lluvias intensas producidas por una situación de mal tiempo generada por el paso sucesivo de ondas frontales () entre el día 6 y 9 de octubre del 2003. Comenzó a llover el día 6, ya entre las 21:30 y las 23:30, llovió a razón de 2 mm por minuto (La Nueva Provincia, 2003). Esta situación de lluvia continuó durante los días 7 y 8. Posteriormente todo el sistema de bajas presiones se trasladó hacia el Noreste de Buenos Aires. Esta situación de onda frontal o ciclogénesis finalizó con una alta presión ubicada en el centro de la provincia produciendo el Pampero (Fig. 10.8, 10.9, 10.10 y 10.11). Los registros máximos alcanzados fueron para el sector serrano de 290 mm en 2 días como se observa en la figura 10.12.



Figura 10. 4. Resaca dejada por el flujo de agua no confinado en la crecida del 7 de octubre de 2003. Calles del barrio Valle Hermoso. Fotografías tomadas por la autora.

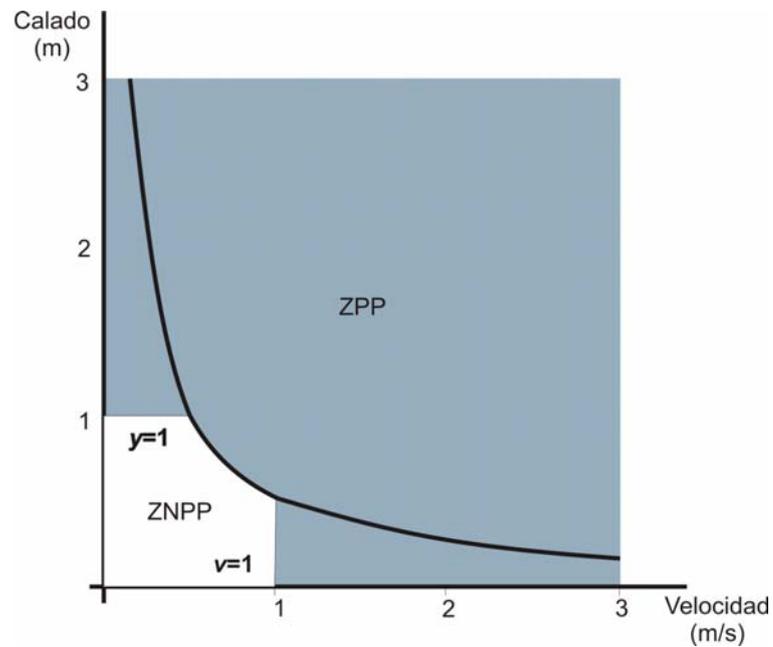


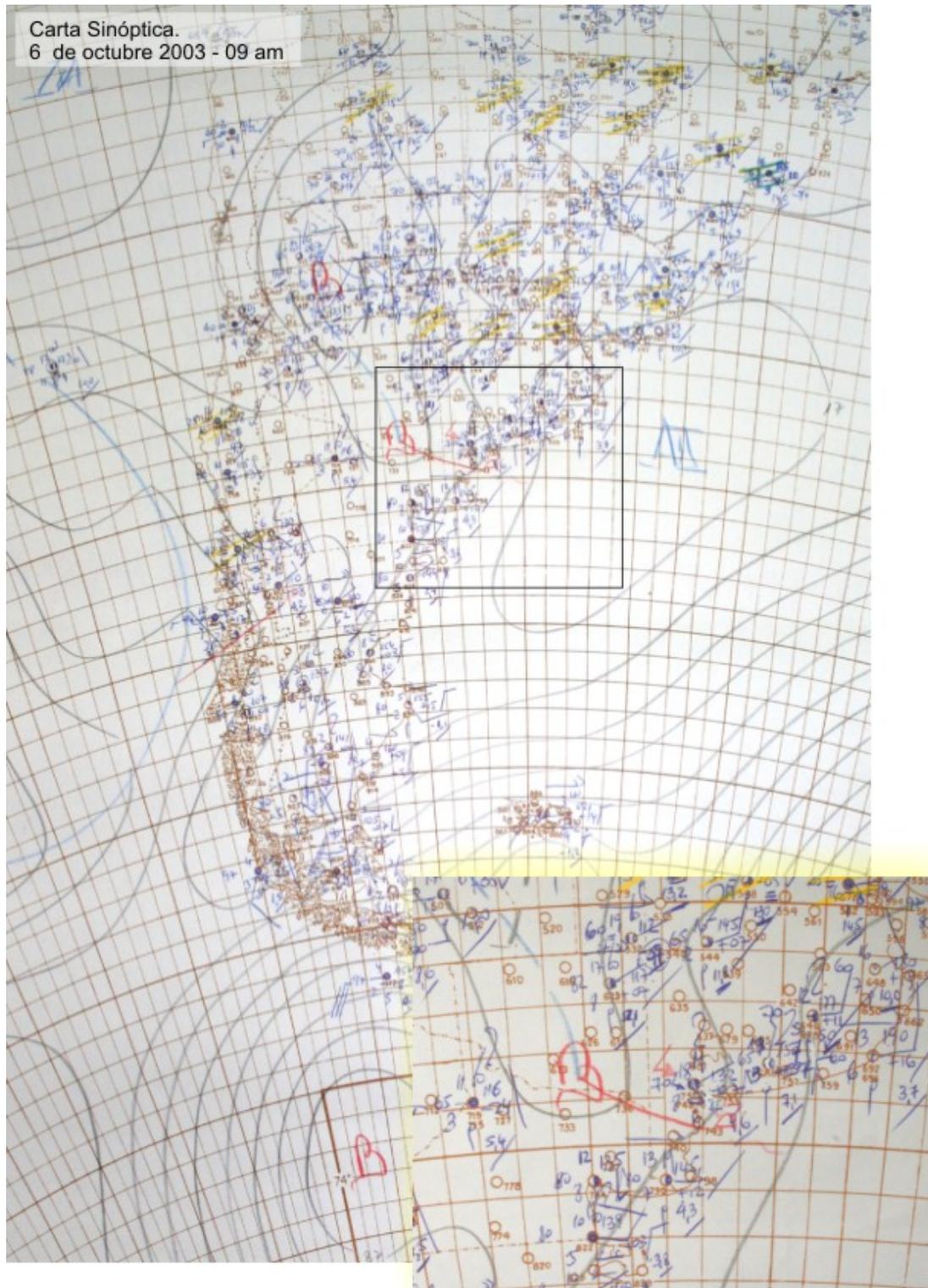
Figura 10.5. Condiciones de calado (altura) y velocidad peligrosas para las personas. ZNPP: zona no peligrosa para las personas. ZPP: zona peligrosa para las personas. Calados y velocidades mayores a 1 m y su producto mayor a $0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ son consideradas condiciones de flujo de agua que pone en peligro la vida de las personas (Martín Vidé, 2003; Ayala-Carcedo, 2002)



Figura 10.6. Imágenes tomadas de la página web del diario La Nueva Provincia, 8 de octubre del 2003.

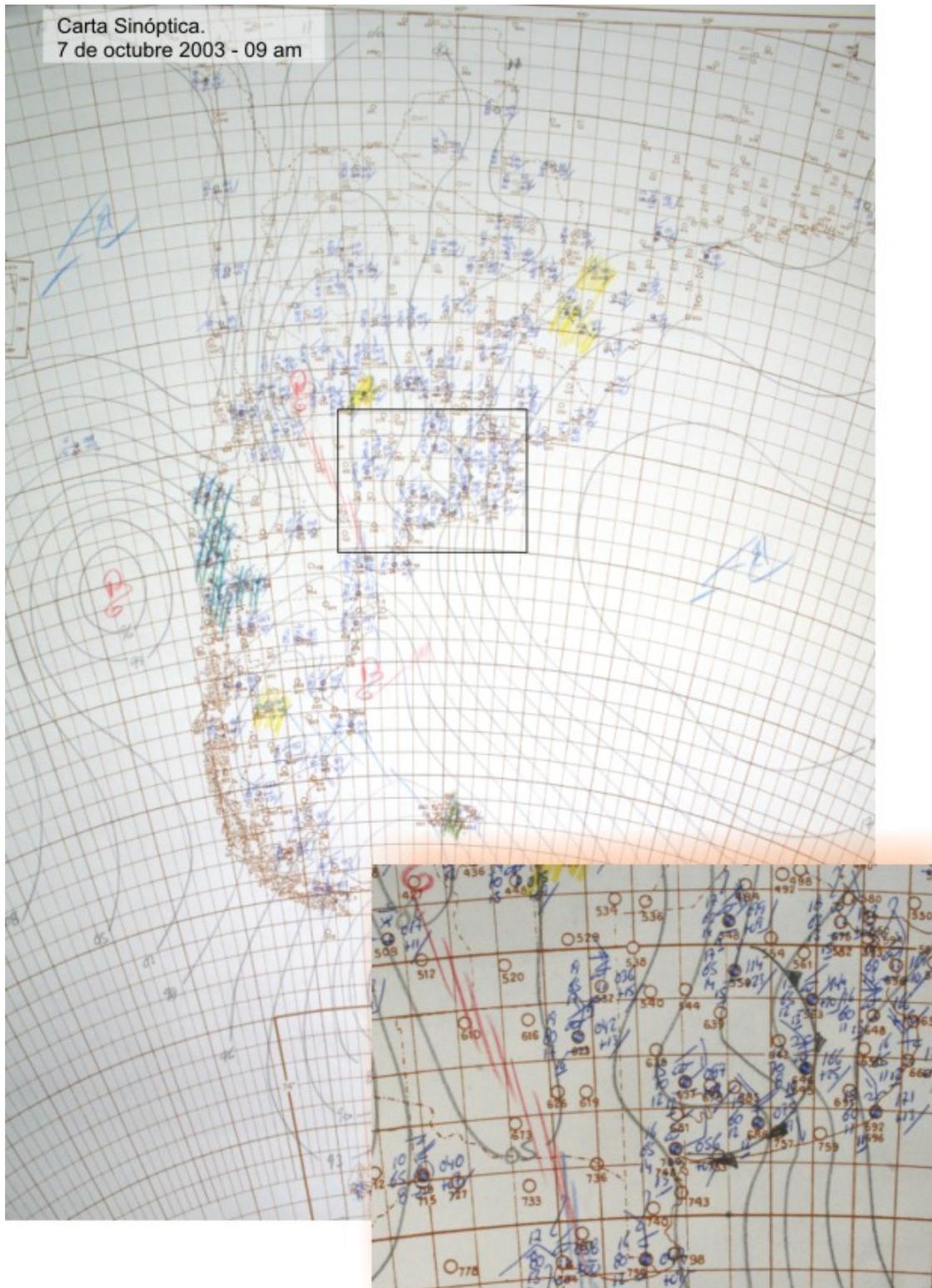


Figura 10.7. Línea de altura de agua de la crecida de 2003 en el sector de piletas municipales. Al fondo de la fotografía se observa la estación de bomberos, a la derecha el alambrado de las piletas municipales y a la izquierda el puente de ferrocarril construido por los ingleses. El río Sauce Grande escurre en sentido de la flecha roja en este sector.



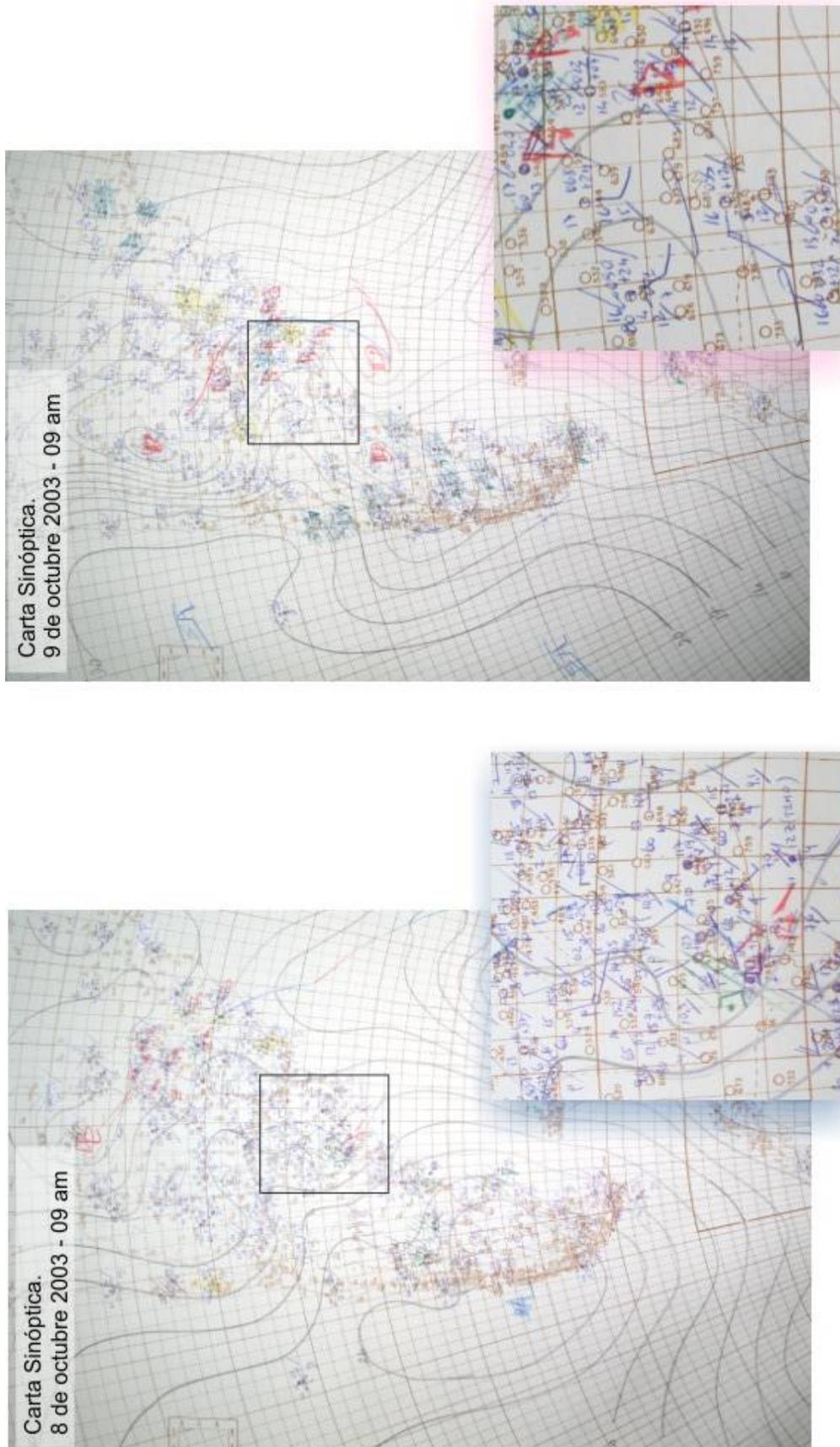
Se observa un centro de baja presión (onda frontal) en el Sur de La Pampa. Produce lluvias en todo el cordón serrano conectadas a la rama cálida de la onda frontal. Vientos provenientes del Noreste y generación de nubes bajas cumuliformes.

Figura 10.8. Situación meteorológica del día 6 de octubre de 2003



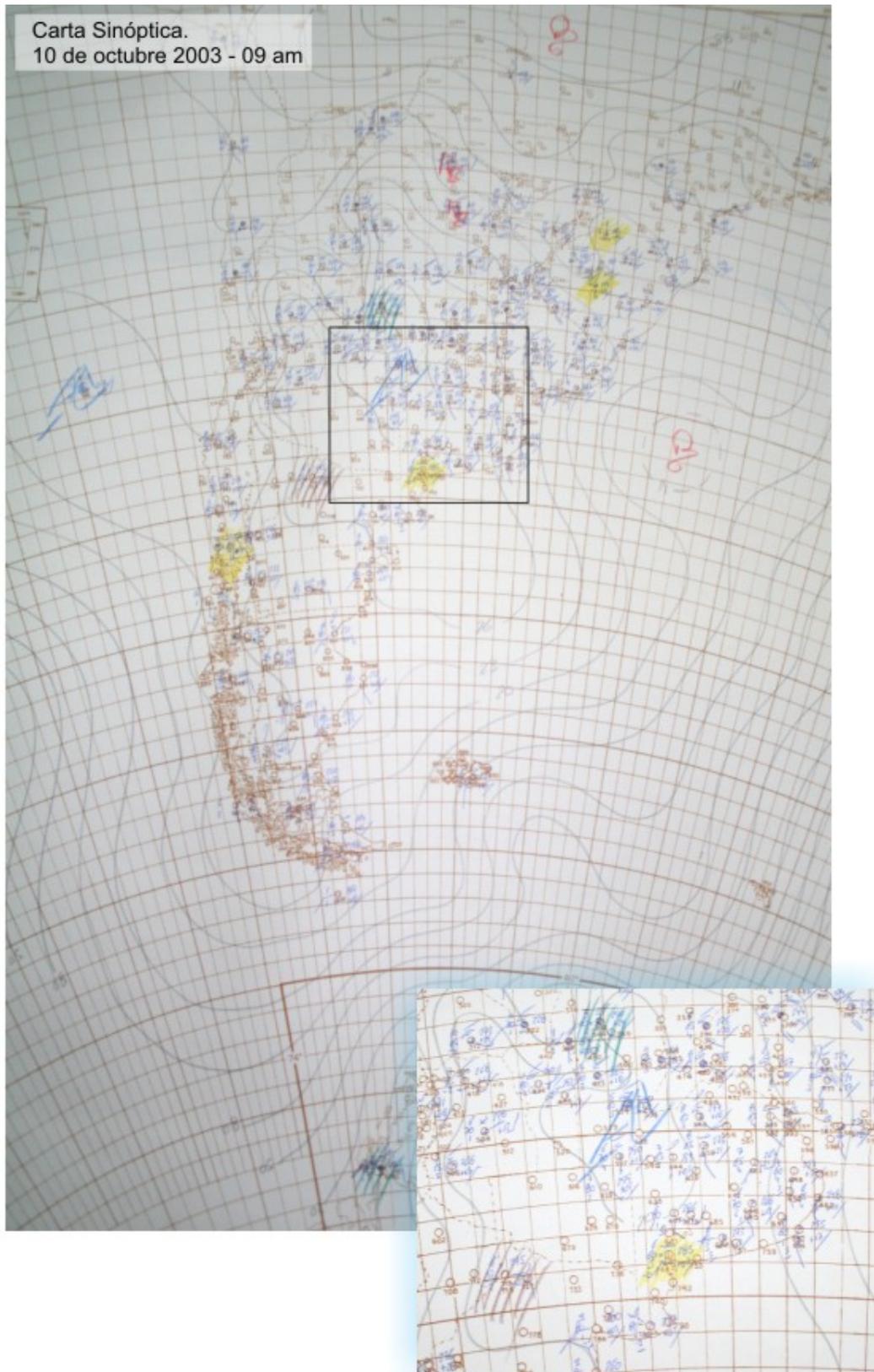
La evolución continúa con un frente frío. Se mantienen las bajas presiones, las condiciones de cielo cubierto y precipitaciones en el sector de estudio. Vientos provenientes del Noreste.

Figura 10.9. Situación meteorológica del día 7 de octubre de 2003



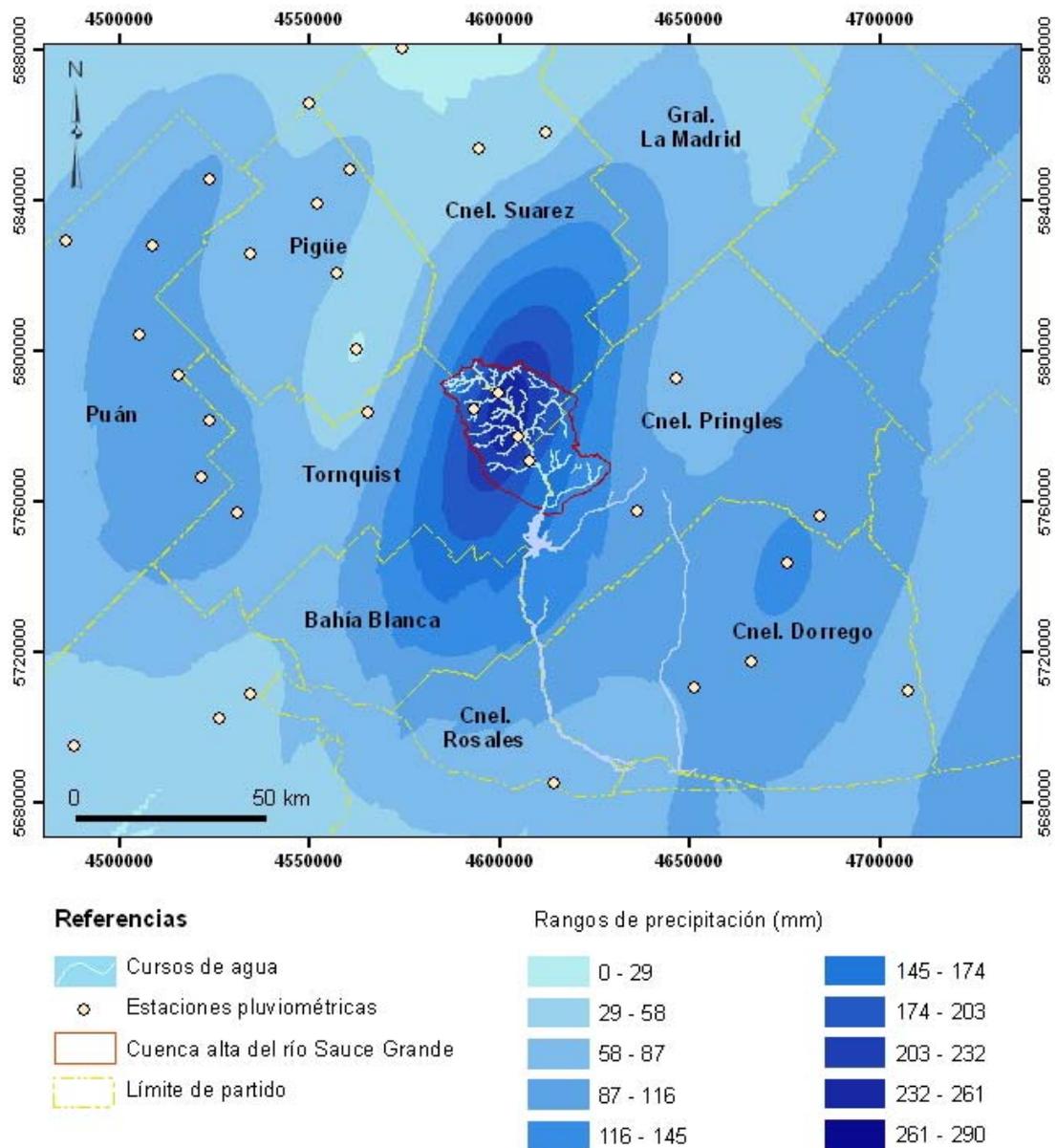
El día 8 de octubre se produce un fortalecimiento de la baja presión y se generan nuevamente lluvias en el sector. Las bajas presiones se mantienen y el cielo está cubierto. Para el día 9 de octubre el sistema de onda frontal se desplaza hacia el Este y produce lluvias en la zona del río de La Plata. En la zona de estudio el cielo está cubierto 3/8 y el viento proviene del Oeste.

Figura 10.10. Situación meteorológica durante los días 8 y 9 de octubre de 2003



La evolución de la situación de onda frontal culmina con un centro de alta presión en el centro de la Argentina. En la región del Suroeste de Buenos Aires produce vientos de Suroeste y una disminución de la temperatura. Se generan nieblas de enfriamiento en Bahía Blanca.

Figura 10.11. Situación meteorológica del día 10 de octubre de 2003.



Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de registros pluviométricos publicados por La Nueva Provincia (2003). Se utilizó la extensión Geostatistical Analyst de ArcGIS 9.1. Año 2009.



Río Sauce Grande en la localidad de Sierra de la Ventana. Altura de la lámina de agua 8 m por arriba de la media. Día 7 de octubre de 2003

Figura 10.12. Mapa de distribución de la precipitación acumulada del 6 al 7 de octubre del 2003.

10.2. Planteo de las diferentes dimensiones del riesgo de crecidas en la localidad de Sierra del la Ventana

Como ejemplo de aplicación de todo el estudio hidrogeomorfológico realizado en esta tesis se aborda el estudio de la exposición y el peligro de crecida de la localidad de Sierra de la Ventana. Sin embargo, se expone en forma sucinta diferentes interrogantes que se generan en torno a las dimensiones del riesgo. Esta presentación permite repensar el análisis de riesgo en la localidad de estudio. La generación de preguntas claves para comenzar con el análisis de cada una de las dimensiones permite observar la complejidad del tema. Asimismo, ayuda en la clarificación de los temas más relevantes a la hora de realizar diferentes análisis futuros en torno a esta problemática.

La ciudad de Sierra de la Ventana se encuentra localizada dentro de la cuenca alta del río Sauce Grande, entre los cordones de Ventana y Pillahuincó. Su localización geográfica está dada por las coordenadas de 38° 8' Sur y a 61° 47' Oeste. Se sitúa aproximadamente a 250 m sobre el nivel medio del mar. La misma se encuentra bordeada por el río Sauce Grande y por los arroyo San Bernardo y El Negro, los cuales experimentan crecidas intensas de baja frecuencia debida a lluvias torrenciales. Esta localidad experimentó dos sucesos extraordinarios de crecida desde su fundación anteriormente analizados.

Al formar parte de la denominada Comarca Serrana, centro turístico de importancia en el Sur de la provincia de Buenos Aires, sus principales actividades están relacionadas con el turismo. Estos últimos 8 años se produjo un fuerte incremento de la población debido principalmente a la incorporación de grupos familiares que emigran de centros urbanos grandes en busca de tranquilidad y seguridad. Se suma a esta población también, grupos de trabajadores golondrinas relacionados al rubro construcción. En épocas de vacaciones, "fines de semana largos" y feriados la población se triplica, cubriendo las plazas de alojamiento. Esto produce que la exposición al peligro de crecida sea mayor.

En las tablas 10.1, 10.2, y 10.3 se exponen algunos problemas y posibles soluciones en torno a la variable exposición, peligro y vulnerabilidad y la situación emergente para cada uno de ellos. La forma de presentación de las dimensiones del riesgo para la localidad de Sierra de la Ventana se tomó del "Análisis de riesgo ambiental en el caso de inundaciones en el Noreste bonaerense. Dimensiones del riesgo y complejidad creciente" En: Mesa redonda "De la atención de la emergencia a la promoción del desarrollo regional". Natenzon, 2008.

PELIGROSIDAD	
PROBLEMA	SOLUCIONES
Crecidas repentinas de gran magnitud debida a lluvias torrenciales.	Controlar mediante sistemas de contención de las aguas.
	Protección de las márgenes
INCERTIDUMBRE EMERGENTE	
¿Cuál es la frecuencia con la que se dan las crecidas de gran magnitud? ¿La variabilidad climática aumentará la frecuencia de las crecidas?	Se requiere mayor información, mejor equipamiento de medición de variables, estudios interdisciplinarios.

Tabla 10.1. Planteo de problemas y posibles soluciones para la dimensión peligrosidad. Se anexa la incertidumbre emergente.

VULNERABILIDAD	
PROBLEMA	SOLUCIONES
Escasa coordinación institucional ante los eventos de crecidas extraordinarias.	Cambio en las acciones políticas de gestión del riesgo.
Acciones sociales de reclamo de medidas de prevención sin peso ante las autoridades.	Construcción de asociaciones civiles, sociedades de fomento con objetivos claros y concretos.
Intereses sociales divididos en torno a al rédito económico del turismo	Cambios en la economía local y municipal.
Escasa planificación y prevención en la normalidad.	Intervención de forma activa de actores sociales locales, técnicos y especialistas vinculados al tema.
INCERTIDUMBRE EMERGENTE	
¿Quién responde ante un evento? ¿Cómo lograr un cambio cuando la prioridad de acciones está en el aspecto económico?	Buscar soluciones alternativas que involucren a los afectados. Asociación de actores en contacto con las necesidades de la población.

Tabla 10.2. Planteo de problemas y posibles soluciones para la dimensión vulnerabilidad. Se anexa la incertidumbre emergente.

EXPOSICIÓN	
PROBLEMA	SOLUCIONES
Expansión urbana sin planificación	Planificación de sectores de expansión urbana derivados de estudios hidrográficos e hidráulicos
Las obras viales (puentes) con escaso mantenimiento.	Generación de fondos para la mantención de obras expuestas a deterioro a causa de la acción del agua.
Construcción de lugares esenciales en sectores expuestos. (escuelas, bomberos)	Relocalización de elementos en zonas favorables.
Construcción de muros de protección de márgenes en algunos sectores que no funcionan.	Contratación de personal capacitado y neutral para la realización de obras de defensa. Multar o enjuiciar al responsable del aumento de la exposición.
INCERTIDUMBRE EMERGENTE	
¿Quién controla la expansión? ¿Cuántos fondos se destinan a la mantención de obras? ¿De dónde salen?	Mayor transparencia en la gestión de recursos económicos. Mayor capacidad de compromiso de los responsables.

Tabla 10.3. Planteo de problemas y posibles soluciones para la dimensión exposición. Se anexa la incertidumbre emergente.

10.3. Sierra de la Ventana una localidad expuesta al peligro de crecidas

Como se mencionó, la crecida repentina del río Sauce Grande en el año 2003 provocó una alerta en la sociedad ante la problemática hidrometeorológica a la que estaba expuesta. En este caso el caudal del río Sauce Grande aumentó de forma imprevista llegando a superar los ocho metros de altura. La misma, se determinó a partir de la observación y medición de restos de vegetación localizadas en las ramas de árboles o arbustos y en los puentes (Fig. 10.13, 10.14 y 10.15). La capacidad de transporte del agua es muy grande y no sólo arrastra a su paso ramas y residuos menores sino que tiene fuerza suficiente para desplazar grandes bloques de roca y zapar y socavar las márgenes del río. La existencia de vegetación arbórea dentro del curso, en caso de crecidas de este tipo, obstaculiza el camino del agua y se crean diques de contención retardando el pico de crecida y generando asimismo ondas en diferentes tiempos.



Figura 10.13. Puente entre villa La Arcadia y Sierra de la Ventana. En la fotografía de octubre se observa la resaca en las pilas que sostienen el puente luego de la crecida del 7 de octubre. El agua sobrepasó el puente 1,5 m.

Del análisis de la carta geomorfológica y del mapa de pendientes, en comparación con las características particulares de la zona en cuanto a la variación de precipitación con la altura, se constata que si bien son cursos de caudales insignificantes, los mismos drenan toda el agua proveniente de la cabecera de la cuenca. Por esta razón, colectan grandes volúmenes de agua que, sumados a pendientes fuertes, aumentan la velocidad del escurrimiento y el poder erosivo del mismo. Esto pone en peligro no sólo a la población sino también a la infraestructura cercana a los cursos, sobre todo, la que se halla sobre la llanura inundable (Casado *et al.*, 2007; Gil y Campo de Ferreras, 2006; Gil *et al.*, 2007 y 2008b).



Figura 10.14. Altura del agua en la crecida del 2003 en el sector denominado La Hoya (línea roja). En el círculo amarillo se observan los troncos y restos de vegetación dejados por la misma crecida a partir de los cuales se estableció la altura aproximada de la línea de agua. El auto y la casa que se observan a los costados de la fotografía actúan como escala de referencia.



Figura 10.15. Altura del agua en la crecida del 2003 en el puente Peralta. En el círculo amarillo se observan restos de vegetación dejados por la misma crecida a partir de los cuales se estableció la altura aproximada de la línea de agua.

Para la problemática planteada en la localidad de Sierra de la Ventana y teniendo en cuenta la información disponible se proponen diferentes mapas para el análisis de la

exposición. La construcción de los mismos se realizó sobre la base de entrevistas a actores claves, trabajo de campo y relevamiento periodístico.

10.3.1. Los lugares esenciales de Sierra de la Ventana

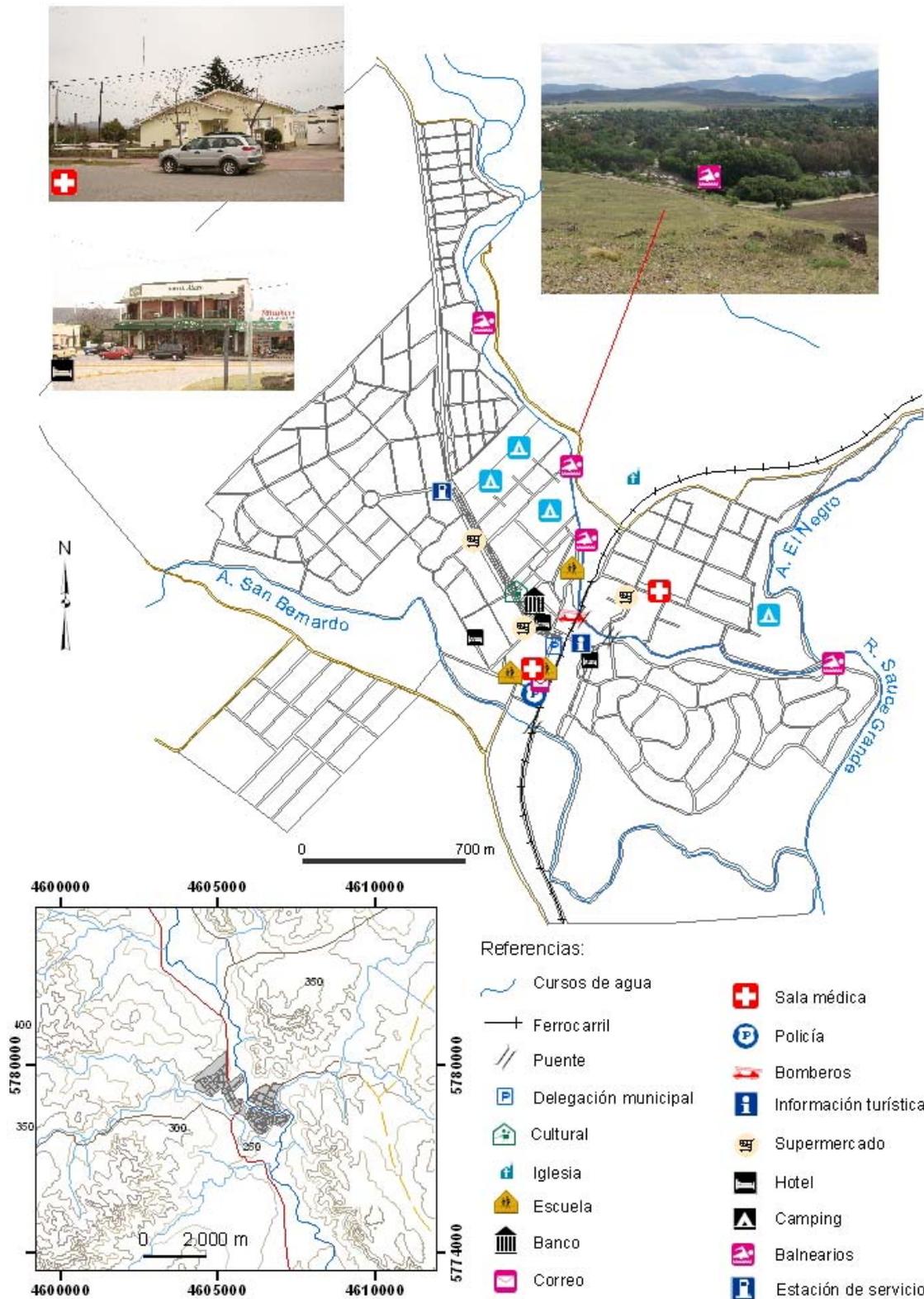
La determinación de los elementos esenciales de una localidad es fundamental. Según D'Ercole y Metzger (2002) un lugar es esencial porque su presencia es fundamental para la ciudad, localidad o barrio. De forma más general, los elementos tienden a concentrarse en ciertos espacios convirtiéndolos en lugares esenciales y cuyo daño traería consecuencias graves para la ciudad. En este concepto se pone en juego la escala de trabajo, ya que si se analizan grandes aglomeraciones los elementos de importancia serán entre otros, hospital, universidad, ejes de circulación. Mientras que si el procedimiento se aplica a un barrio o en este caso a una localidad turística los lugares de importancia serán irrelevantes a nivel de aglomeración.

Los lugares esenciales de la localidad de Sierra de Ventana se pueden observar en la figura 10.16. En ella se localizaron, a nivel educativo, el jardín, la escuela primaria y secundaria; a nivel salud, dos salas médicas y a nivel religioso la iglesia. La estación de bomberos y policía son elementos importantes para la seguridad. El cuerpo de bomberos voluntarios actúa como defensa civil en caso de emergencia ya sea de inundación, incendio o accidente.

La localidad está bordeada por dos cursos de agua, el arroyo San Bernardo y el río Sauce Grande. Por ello presenta dos puentes viales y uno ferroviario que son importantes en cuanto a la accesibilidad del lugar. Los servicios que ofrece son significativos debido a que la función principal de Sierra de la Ventana es turística. Se destacan como principales 3 hoteles (los más emblemáticos), las zonas de acampe (camping), banco, centros culturales (entre ellos la biblioteca) y un centro de informes turísticos. Por otra parte, se encuentra la delegación municipal del partido de Tornquist.

10.3.2. Usos del suelo y grado de ocupación en Sierra de la Ventana

Para la clasificación de usos de suelo de la localidad de Sierra de la Ventana se utilizó la codificación del el Plan de Ordenamiento Territorial de la Comarca de la Sierra de la Ventana. Partido de Tornquist (2002) y se actualizaron algunos sectores con relevamiento de campo (Fig. 10.17). El uso predominante es el residencial – turístico y residencial exclusivo. En los últimos 5 años se expandió la localidad sobre el área de uso



Elaboración: Lic. Verónica Gil; Cartografía: Lic. Andrea Silva
 Fuente: Plan de ordenamiento territorial de la comarca serrana Sierra de la Ventana, Partido de Tornquist (2002). Actualización sobre la base de relevamiento de campo, fotos aéreas y Google Earth. Año 2009.

Figura 10.16. Lugares esenciales de la localidad de Sierra de la Ventana.

residencial – con usos mixtos compatibles (marrón claro). Aumentó el número de viviendas y comercios en las áreas destinada a este uso (violeta oscuro).

A lo largo del río Sauce Grande se ubican zonas destinadas a camping (amarillo), los balnearios, dentro de la zona para uso público - recreativo y parte de la zona residencial - turística. Sobre la margen izquierda del arroyo San Bernardo se localiza otro sector de la zona residencial - turística y el área de mayor centralidad, donde los usos son múltiples. A lo largo de la avenida San Martín (boulevard) se concentra el sector destinado al uso comercial mientras que a lo largo de las vías de ferrocarril, se pueden distinguir sectores de instalaciones ferroviarias (junto con la estación de trenes), espacios sin definir (verde claro), la zona del Golf club y el área de mayor centralidad. La zona de ampliación de la planta urbana se localiza en los sectores Noroeste y Sureste. También existe una zona residencial de carácter no permanente y un sector para actividades múltiples vinculadas al turismo, ocio, recreación y el esparcimiento.

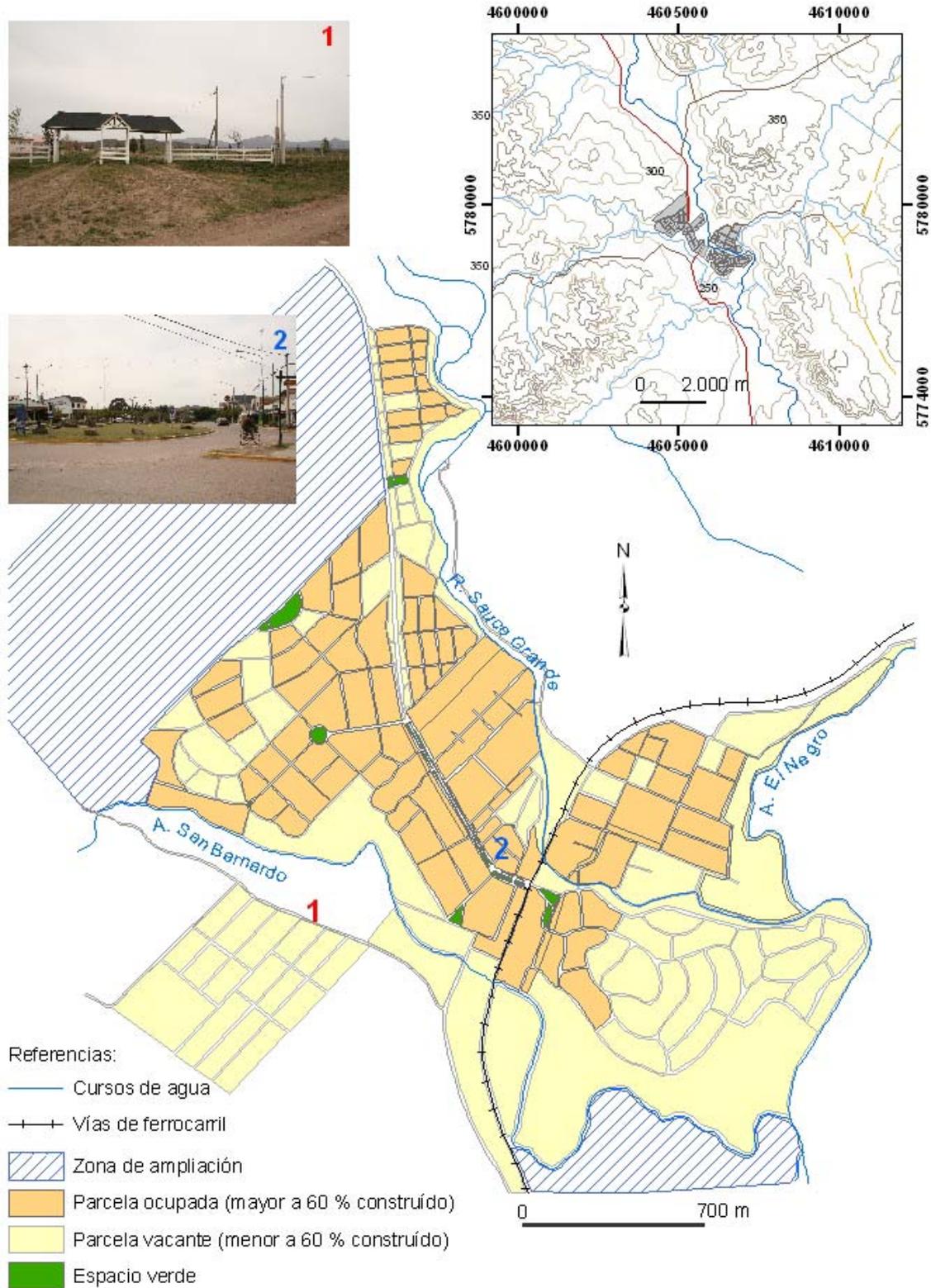
Por otra parte, el grado de ocupación de las manzanas se realizó también sobre la base del Plan de ordenamiento territorial de la comarca de la Sierra de la Ventana (2002). Se actualizó la información con trabajo de campo y observación de Google Earth. Se considera como ocupada, la manzana que posee más del 60 % de parcelas con construcción y como vacante cuando la misma posee menos del 60 % de parcelas con construcción.

Como se observa en la figura 10.18, la mayor parte de las parcelas se encuentran construidas. Las excepciones son parte del Barrio Golf (localizado al Sureste), los nuevos lotes en donde existen residencias de ocupación no permanente, entre otras.

10.3.3. Zonas inundadas por crecidas en Sierra de la Ventana

De los datos anteriormente analizados respecto a las crecidas extraordinarias del año 1944 y 2003 se pudo cartografiar las zonas inundadas y por lo tanto conocer las parcelas que están expuestas al peligro. Estas zonas se inundan una vez que el flujo de agua alcanza el canal de aguas altas, para luego desbordar hacia los sectores de la llanura inundable (Fig. 10.19). Para llegar a la llanura inundable en este caso, la altura a la cual tiene que ascender el agua es entre 6 y 8 m.

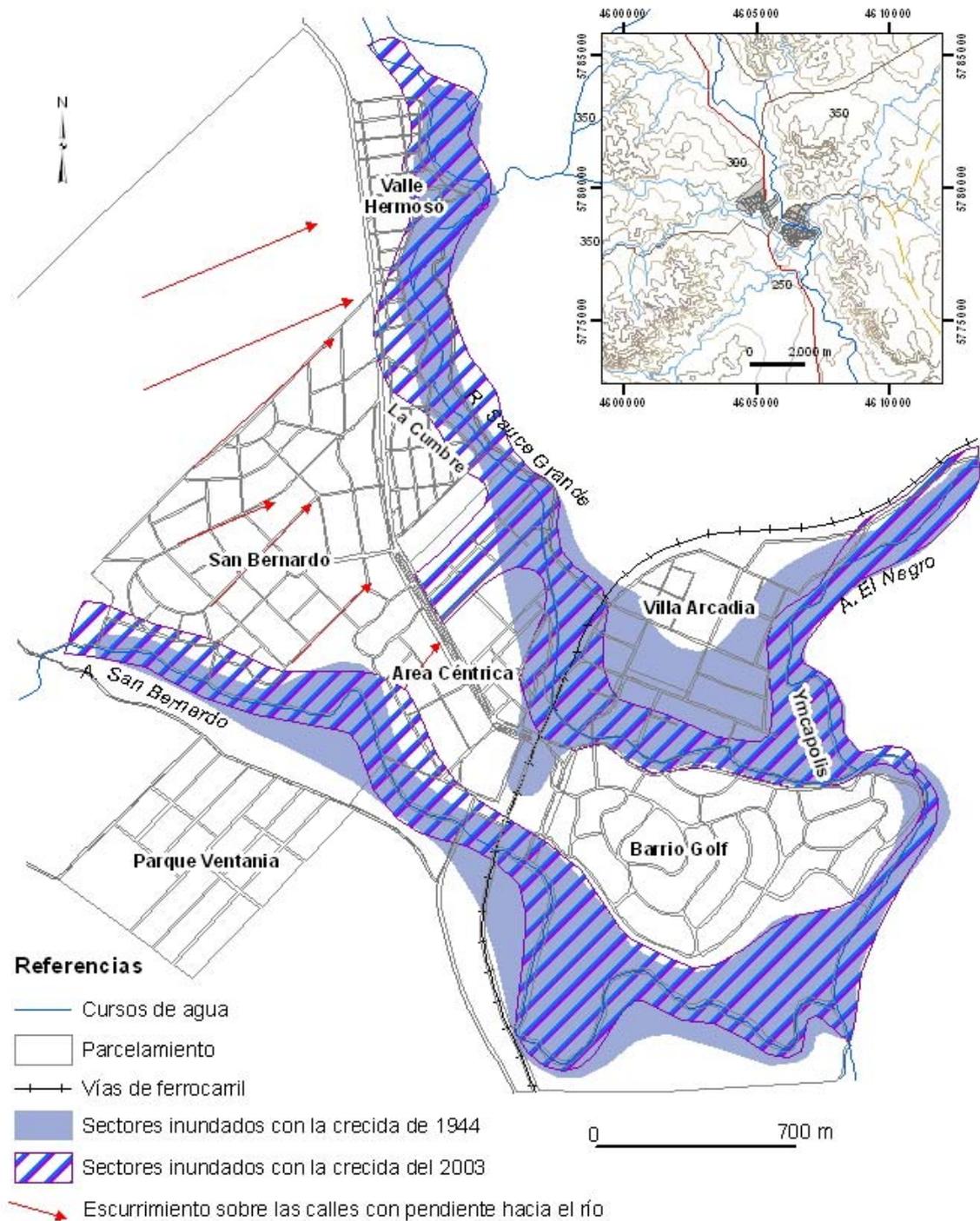
En el caso del año 1944, la población se concentraba en el sector céntrico y el sector de Villa Arcadia. Ya para el año 2003 la población creció y se expandió ocupando



Elaboración: Lic. Verónica Gil; Cartografía: Lic. Andrea Silva

Fuente: Plan de ordenamiento territorial de la comarca de la Sierra de la Ventana, Partido de Tomquist (2002). Actualización sobre la base de relevamiento de campo, fotos aéreas y Google Earth. Año 2009.

Figura 10.18. Porcentaje de ocupación de las manzanas de la localidad de Sierra de la Ventana.



Elaboración: Lic. Verónica Gil; Cartografía: Lic. Andrea Silva

Fuente: Relevamiento de campo, entrevistas a actores claves e información periodística. Año 2009.

Figura 10.19. Zonas inundadas por crecidas extraordinarias (1944 y 2003) en Sierra de la Ventana

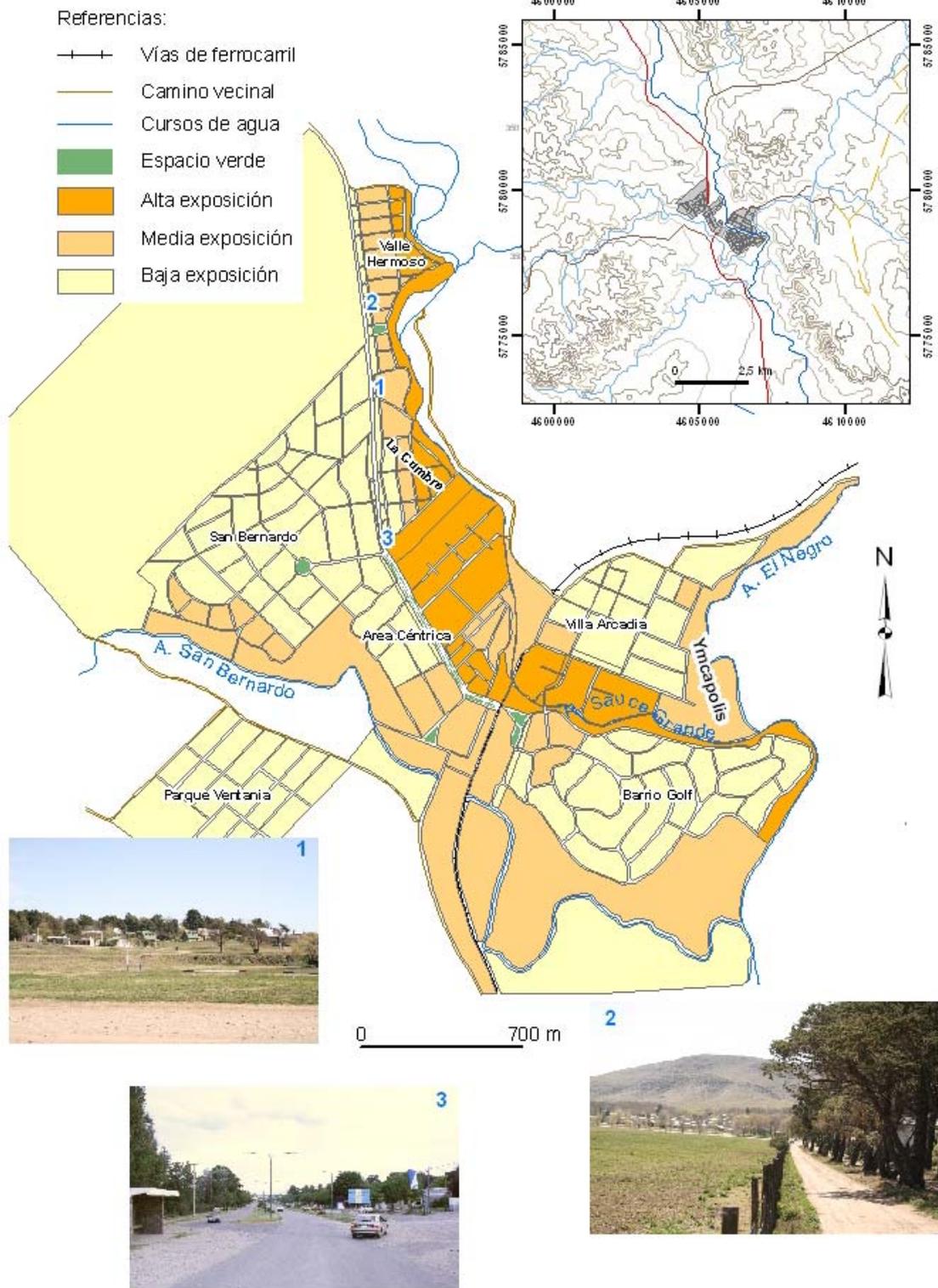
áreas vecinas a los cursos de agua. Por ello si bien la inundación de 2003 fue de menor magnitud, provocó mayores daños a las viviendas localizadas a la vera del río. En ese caso los lugares más expuestos son las parcelas que lindan con los arroyos en el barrio San Bernardo, Valle Hermoso y Villa Arcadia. El Golf club está expuesto a ser inundado al igual que el complejo Ymcapolis. Los puentes también están expuestos al igual que los sectores céntricos y algunas calles perpendiculares al río Sauce Grande.

Por otra parte, cuando se producen fenómenos meteorológicos que generan crecidas de los ríos se origina también un escurrimiento laminar y encauzado que circula por las calles con pendientes. Este escurrimiento en calles de tierra genera regueros y erosiona las mismas transportando material sedimentario que luego se deposita en zonas horizontales como la zona donde se encuentra el boulevard (Av. San Martín).

10.3.4. Exposición de la localidad de Sierra de la Ventana al peligro de inundación por crecida

Para lograr el grado de exposición (alto, medio y bajo) se analizaron conjuntamente los mapas de uso del suelo, lugares esenciales, parcelas ocupadas y zonas inundadas. De los mismos se obtuvo la figura 10.20, donde se observa el grado de exposición de los diferentes sectores. La alta exposición abarca la zona que bordea al río Sauce Grande, los terrenos de la misma más bajos y con pendiente hacia el curso. En este caso se encuentran parcelas de los barrios de Villa Arcadia, Valle Hermoso, La Cumbre y algunas parcelas del sector de mayor centralidad. La mayoría se encuentran ocupadas y son de uso residencial exclusivo, uso residencial (admite usos mixtos compatibles), uso comercial. Un sector importante es el área de camping que cuenta con gran afluencia de turistas en la época estival y fines de semana largos. Este uso se considera como altamente expuesto debido a que generalmente se encuentran cercanos a los cursos de agua y la mayoría de las personas que utilizan el servicio desconocen el funcionamiento del sistema natural que los rodea.

En el caso de las parcelas con grado de exposición medio las mismas se localizan bordeando los arroyos San Bernardo y El Negro. Las que bordean al arroyo El Negro están destinadas a un uso recreativo – religioso, no son de uso permanente y en ellas no se localiza ningún elemento esencial. Las que lindan con el arroyo San Bernardo, son para uso residencial exclusivo pero las mismas están vacantes. Esto disminuye el riesgo de exposición sumado a que no poseen lugares esenciales. En el sector de Barrio Golf



Elaboración: Lic. Verónica Gil; Cartografía: Lic. Andrea Silva
 Fuente: Plan de ordenamiento territorial de la comarca de la Sierra de la Ventana, Partido de Tomquist (2002). Actualización sobre la base de relevamiento de campo, fotos aéreas y Google Earth. Año 2009.

Figura 10.20. Grado de exposición de parcelas en la localidad de Sierra de la Ventana.

las parcelas con grado medio de exposición son destinadas a la cancha del golf del club de golf de Sierra de la Ventana. El resto de los sectores cercanos al arroyo San Bernardo son parcelas destinadas para la ampliación de la zona urbana y usos mixtos todavía no definidos. En el caso de las parcelas que lindan con el río Sauce Grande, en ellas se encuentran las piletas municipales y espacios de uso residencial sin embargo el grado de ocupación es mínimo. Por otra parte, el área de menor exposición comprende parcelas destinadas a uso residencial exclusivo y permanente. Las mismas tienen una posición favorable debido a que están alejadas de los cursos de agua y son los sectores de mayor altitud en la localidad. Aquí se localizan los barrios Golf, San Bernardo y Parque Ventania.

CONCLUSIONES

Las cuencas fluviales son sistemas complejos cuyas propiedades se definen a partir de la interrelación de características geomorfológicas, geológicas, climáticas, hidrográficas, biogeográficas, de uso del suelo, etc. Por ello, actúan como unidades físicas de análisis y se toman como marco de referencia para la planificación y la gestión. Cuando las mismas se consideran como un elemento aislado y no como un sistema, se generan diversas problemáticas medioambientales que afectan a la población.

En el caso de la cuenca alta del río Sauce Grande, la misma proporciona agua a través del Dique Paso de las Piedras a las ciudades de Bahía Blanca y Punta Alta. Por ello todos los estudios y trabajos son vistos desde la óptica del aprovechamiento del recurso. Sin embargo, esta cuenca caracterizada por un clima templado de transición donde la variación de las precipitaciones es marcada genera eventos de crecidas que afectan a las localidades situadas en ella. Por ello, esta tesis es un aporte significativo al conocimiento de la hidrogeomorfología aplicada al estudio del peligro de crecidas desde un punto de vista sistémico e integrador dado por la disciplina geográfica dentro de la que se enmarca.

Se estudiaron las características climatológicas regionales y de la cuenca en particular. Se focalizó en el comportamiento de las precipitaciones tanto espacial como temporalmente. Todos los valores analizados confirman una variabilidad interanual de la precipitación que es típica de esta región del Suroeste de la provincia de Buenos Aires. El valor medio anual es, para la cuenca de análisis, de 739,1 mm con una dispersión de 40,3 mm. Sin embargo es de destacar la amplitud entre los valores máximos y mínimos, la cual llega a 1.009,5 mm. Por otra parte existe en la cuenca una variación espacial y altitudinal que se puso de manifiesto al estudiar los datos de diferentes estaciones localizadas en la cuenca. La disposición del cordón serrano influye en la cantidad y distribución de la precipitación dependiendo del tipo de la misma. La más frecuente en el año es la precipitación de origen frontal siguiendo en orden las de onda frontal.

Se analizó y comparó la distribución de caudales para diferentes períodos y para distintas cuencas pertenecientes a la cuenca alta del río Sauce Grande. Los datos son dispersos y sólo de algunas cuencas, pero permite estimar el comportamiento general del resto que tienen las mismas características. Si bien en general la distribución de caudales es semejante en las diferentes estaciones de aforo, las mismas varían en los valores de caudal específico aportado. Una de las primeras causas es la diferencia de área entre las diferentes

cuencas. Así, la cuenca del arroyo San Bernardo que es la más pequeña en superficie aporta caudales mayores que la cuenca del arroyo El Negro que la dobla en área. También, es importante destacar aquí que el nacimiento de ambas cuencas discurren por distintos cordones serranos y nacen a diferentes alturas.

Asimismo, se realizó un análisis de los parámetros e índices morfométricos con el objetivo de evaluar el comportamiento diferencial de las cuencas. Los resultados obtenidos se cartografiaron y permitieron identificar cuencas con mayor potencialidad de generar crecidas. Las subcuencas Nacimiento o Destierro Primero, Horqueta del Sauce, El Atravesado, del Oro, San Bernardo y El Negro son las cuencas que presentan mayor peligrosidad ante eventos de precipitaciones extremas. Si las precipitaciones se producen en toda la cuenca con intensidad semejante, las mismas sumadas al resto de las subcuencas analizadas, actúan casi de manera conjunta y esto contribuye a la generación de crecidas en el río Sauce Grande.

Se realizaron los mapas geomorfológicos e hidrogemorfológicos de la cuenca alta del río Sauce Grande. Se focalizó el análisis, con un cambio de escala, en sectores de relevancia geomorfológica e hidrogemorfológica. Los mismos se aplicaron a la determinación de la peligrosidad de crecidas y la zonificación de áreas expuestas a crecidas al área urbana de Sierra de la Ventana.

Todas las variables analizadas (geomorfológicas, hidrográficas, climáticas, morfométricas) conforman el comportamiento hídrico dinámico de las diferentes cuencas y repercuten en la ocurrencia y magnitud de los eventos de avenidas, así como en las características de torrencialidad ante sucesos hidrometeorológicos extremos. Estas crecidas de baja frecuencia y gran magnitud afectan principalmente a la localidad de Sierra de la Ventana. Se analizaron las crecidas de 1944 y 2003. A partir de las mismas y de datos relevados en el terreno y entrevistas a actores claves se cartografió el uso del suelo, el porcentaje de ocupación, la altura de la lámina de agua de ambas crecidas, los lugares esenciales y de la superposición de los mismos se obtuvieron zonas con diferentes grados de exposición.

El estudio hidrogeomorfológico realizado para la cuenca alta del río Sauce Grande demostró que las cuencas Nacimiento o Destierro Primero, de los Remansos, Horqueta del

Sauce, del Oro y San Bernardo del cordón Sierra de la Ventana y las cuencas Atravesado y El Negro del cordón Las Tunas y Pillahuincó son las que deben ser monitoreadas constantemente a los efectos de generar los sistemas de alerta efectivos que protejan a la población expuesta a los peligros de las crecidas de los arroyos serranos.

BIBLIOGRAFÍA**A**

Albouy, E. R., 1994. Hidrogeología de la cuenca superior del río Sauce Chico, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. (Inédito).

Alcántara-Ayala, I.; 2002. "Geomorphology, natural hazards, vulnerability and prevention of natural disasters in developing countries". *Geomorphology* 47. pp. 107–124.

Allesch Laude, R.; Constanzo Cerda, V., 1988. Problemas ambientales en la cuenca del Río Aconcagua, V región, su incidencia en el manejo de los recursos y desarrollo regional. *Revista Geográfica de Valparaíso*. N° 19.

Allesch Laude, R.; 1989-1990. "Uso, manejo y control de los recursos hídricos. Una perspectiva metodológica, a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)". *Revista Geográfica de Valparaíso*. N° 20 – 21. pp. 5–46.

Almeira, G., Ciappesoni, H., Goniadzki, D. y Scian, B., 2004. Índice de Precipitación Estandarizado: Una Aplicación en el Litoral Argentino. X Reunión Argentina y IV Latinoamericana de Agrometeorología. Mar del Plata, Argentina.

Amos, A. J. y Urien, C.M., 1968. La falla "Abra de la Ventana" en las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. *Rev. Asoc. Geol. Arg.*, T XXIII, N° 3, pp. 197-206

Andreis, R.; Iñiguez, A.; Lluch, J. y Rodríguez, S., 1989. Cuenca paleozoica de Ventania, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires En: G. Chebli y Spalletti (Eds.). *Cuencas Sedimentarias Argentinas*. Instituto Superior de Correlación Geológica, Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, pp. 265-298.

Andreis, R. R. y Japas, M.S., 1996. Cuencas Sauce Grande y Colorado. En: Archangelsky (ed.): *El Sistema Pérmico en la República Argentina y en la República Oriental del Uruguay*, Academia Nacional de Ciencias, Córdoba. pp. 45-64

Andreis, R. R., Japas, M. S. y Rodríguez, S., 1996. Excursión geológica n° 1: Sierras australes de Buenos Aires (Ventania). 13° Congreso Geológico Argentino y 3° Congreso de Exploración de hidrocarburos. Buenos Aires. 32 pp

Andreis, R. y López Gamundi, O., 1985. Interpretación paleoambiental de la secuencia paleozoica del Cerro Pan de Azúcar, Sierras Australes, provincia de Buenos Aires. I Jornadas Geológicas Bonaerenses. La Plata. Resumen pp. 241

Aparicio Mijares, F.J., 1999. *Fundamentos de hidrología se superficie*. Ed. Limusa. Mexico. 303 pp.

Ayala-Carcedo, F.J., 2002. Inundación torrencial catastrófica del camping "las nieves" del 7 de agosto de 1996 en el cono e deyección del arás (Biescas, Pirineo aragonés). En: Ayala-Carcedo F. J y Olcina Cantos, J. (Coord). 2002. *Riesgos Naturales*. Ariel. España. 1304 pp.

B

Barbancho, A.C. 1998. Variabilidad espacial de la lluvia en una pequeña cuenca hidrográfica de la provincia de Cáceres. *Norba*. *Revista de Geografía*. N° 10 pp. 23-34

Barbieri, M. y Marchetti, M., 2003. Morphometric análisis of the drainage network in the Modena and Reggio Emilia Apennines (Northern Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 26, pp 87-99

Baker, V.R., Craig Kochel, R. y Patton, P.C., 1988. *Flood Geomorphology*. USA. Wiley-Interscience publication. 503 pp.

Benedetti, G.; Campo de Ferreras, A., 2002. La vegetación como indicadora de una geomorfología cambiante en el Sur de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Actas IV Jornadas de Geografía Física. Mar del Plata, pp. 98–106.

Benedetti, G., y Campo, A., 2007. Arbolado de alineación: el mapa verde de un barrio en la ciudad de Bahía Blanca, Argentina. Papeles de Geografía. Murcia. España. ISSN: 0213 – 1781, v. 45 – 46, 27–38.

Bescos, A y Camarasa, A, 1998. Caracterización hidrológica del río Arga (Navarra): El agua como recurso y como riesgo. Estudios Geográficos, TLIX, N° 232, pp. 389-421.

Bidart, S.M., 1987. Geomorphological map of the río Sauce Grande Basin, Buenos Aires province, Argentina. Universidad Nacional del Sur. 14 pp.

Bidart, S. M., 1995. Características sedimentológicas de depósitos cuaternarios en el curso medio del río Sauce Chico, provincia de Buenos Aires. Parte I: rasgos texturales y estratigráficos. Actas de las IV jornadas Geológicas y Geofísicas bonaerenses, pp. 315 – 328.

Bidart, S.M., 1996. Sedimentological study of aeolian soil parent material in the río Sauce Grande basin, Buenos Aires province, Argentina. Catena 27. Elsevier. pp 191 – 207.

Blaikie, P.; Cannon, T.; David, I. y Wisner, B., 1996. Vulnerabilidad, el entorno social, político y económico de los desastres. La Red. www.desenredando.org

Blanck, J.P.; 1969. "Investigación geomorfológica aplicada a proyectos de aprovechamiento hidroagrícola del valle medio del río Níger (República de Malí)". Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. N° 22 –23. pp. 5–30.

Bonorino, G.A., 1991. Evaluación de la recarga de agua subterránea en el área de la vertiente occidental de las Sierras Australes, Provincia de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina 46. (1- 2), pp. 93–102.

Bonorino, G.A.; Albouy, R. Y Carrica, J.; 2001. "Hidroquímica de un acuífero Loésico". Geoacta, 26, pp 33-45.

Borgel, R.; 1964. "La carta geomorfológica de Chile". Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol. IV – V. N° 11 – 12 – 13. pp. 15–22.

Bruniard, D., 1992. *Hidrografía. Procesos y tipos de escurrimiento superficial*, Editorial Ceyne, Buenos Aires, 124 pp.

C

Cabrera, M., 1976. "Territorios fitogeográficos de la República Argentina", en *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*, Tomo II, Fascículo 1, Editorial Acme SACI, Buenos Aires, 90 pp.

Calvo-Cases, A.; Boix-Fayos, C. Y Imeson, A.C.; 2003. "Runoff generation, sediment movement and soil water behaviour on calcareous (limestone) slopes of some Mediterranean environments in southeast Spain.". *Geomorphology* 50. pp. 269-291.

Camarasa, A.M., 1995. Génesis de crecidas en pequeñas cuencas semiáridas. Barranca de Carraixet y Rambla del Poyo. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Confederación Hidrográfica de Jucar. 252 pp.

Camarasa Belmonte, A.M. 2002. Crecidas e inundaciones, pp. 859 – 877. En: Ayala-Carcedo F. J y Olcina Cantos, J. (Coord). 2002. Riesgos Naturales. Ariel. España. 1304 pp.

- Campo de Ferreras, A. y Piccolo, M.C., 1997a. La cuenca hidrográfica del río Quequén Grande, Argentina. *Revista Geofísica*, N° 45, Argentina, pp. 57-72.
- Campo de Ferreras, A. y Piccolo, M.C., 1997b. El escurrimiento superficial en la cuenca del río Quequén Grande. *Actas 19ª Reunión Científica de Geofísica y Geodesia, 1º Jornadas de Catastro Minero*, San Juan, pp. 311-315.
- Campo de Ferreras, A. y Piccolo, M.C., 1997c. Relación lluvia caudal en la cuenca inferior del río Quequén Grande, Argentina, *Actas Primeras Jornadas Nacionales de Geografía Física*. Universidad Nacional del Sur. Argentina I. 3.
- Campo de Ferreras, A. y Piccolo, M.C., 1997d. Régimen hidrológico-pluviométrico del río Quequén Grande. Libro de resúmenes. X Coloquio Argentino de Oceanografía. IAPSO, Instituto Argentino de Oceanografía, Bahía Blanca. Pp 11.
- Campo de Ferreras, A., Piccolo, M.C., 1998. El balance hídrico en la cuenca del río Quequén Grande, Argentina. *Revista Geofísica* N° 46, pp 51-66.
- Campo de Ferreras, 1999. Hidrografía del río Quequén Grande. Universidad Nacional de Sur. Tesis Doctoral. 141 pp.
- Campo de Ferreras, A., Piccolo, M.C., 1999. Hidrogeomorfología de la cuenca del río Quequén Grande, Argentina. *Papeles de Geografía*. N° 29, Universidad de Murcia, España, 35–46.
- Campo de Ferreras, A. y Diez, P., 1999. Heterogeneidad hidrográfica en la cuenca occidental del río Quequén Grande, Argentina. XX Congreso Internacional y V Internacional de Geografía. Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas. Universidad del Bío-Bío. Chile, pp. 3–10.
- Campo de Ferreras, A.; Capelli de Steffens, A y Diez, P.; 2004. El clima del Suroeste bonaerense; Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 105 pp.
- Campo de Ferreras, A. y Gil, V., 2004. Estados de tiempo típicos del Sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Sociedad Chilena de Ciencias Chilenas*, Chile, pp. 15-26
- Campo de Ferreras, A.; Hernández Moresino, S., Huamantínco Cisneros, M., y Zapperi, P., 2004b. Ocurrencia de Sudestadas en el Suroeste bonaerense. *Sociedad Argentina de Estudios Geográficos*. *Contribuciones Científicas*, pp 45 – 50.
- Campo, A. y Ramos, B. 2009. Revisión de métodos de graficación comparativos para climas templados y templados de transición, *Sociedad Chilena de Ciencias Geográficas*. En prensa
- Campo, A., Ramos, B, Zapperi, P., 2009. Análisis de las variaciones anuales de las precipitaciones en el Suroeste bonaerense, Argentina. 12 pp. *Actas electrónicas del 12 congreso de geógrafos latinoamericanos*. Montevideo. Uruguay.
http://egal2009.easyplanners.info/area07/7085_Campo_Alicia_M_.pdf
- Capelli de Steffens, A. ; Campo de Ferreras, A., 1994: La transición climática en el sudoeste bonaerense. En: *SIGEO 5, Serie monografías*. Sección de Investigación del Departamento de Geografía. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 75 pp.
- Capitanelli, R. G., 1998. *Geografía Física y Medio Ambiente: revalorización y enseñanza. Método y técnicas de trabajo*. Mendoza, Ecogeo. 153 pp.
- Schumm, S. A., 1964. Airphotos and water resources. *Trans. UNESCO Symp. Aerial Surveys and Integrated studies*, Tolouse. UNESCO: 70-80. En Verstappen, H. Th. (1983) *Applied Geomorphology*.

Cappanini, D., C. Scoppa y J. Vargas Gil, 1971. Suelos de las Sierras Australes de la Provincia de Buenos Aires. En: Reunión sobre la Geología de las Sierras Australes bonaerenses, pp. 203-223. La Plata, CIC.

Capri Junior, S. y Alves Mendes, I., 1992. "As Vertentes da Bacia do Córrego Tucum (Sao Pedro, SP) e seu significado morfogenético". Revista Geografía. Río Claro. V. 17. n° 1 pp. 77- 90.

Cardona, O., 2001. La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo. Una crítica y una revisión necesaria para la gestión. Ponencia presentada en la Conferencia Internacional sobre Vulnerabilidad en Desastres. Teoría y Práctica. Wageningen, Holanda.

Cardona, O., 2003. Gestión Integral de Riesgos y Desastres. Curso de Educación Superior a Distancia. Apuntes. Estructuralia, Barcelona

Caruso, M. J., Varquero, M. C. y Rodriguez, C., 2006. Posicionamiento del Partido de Coronel Suárez como destino turístico. Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. pp. 215-221.

Casado, A., Campo de Ferreras, A. y Uboldi, J., 2005. "Propuestas para la evaluación del riesgo de incendio forestal y de pasturas naturales en Villa Ventana, Buenos Aires", en *Contribuciones Científicas*, 66ª Semana de Geografía, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos, Azul, pp. 53-59.

Casado, A. L., 2006 Modelo digital para la prevención de incendios forestales en el área de villa ventana. Universidad nacional del Sur. Tesis de licenciatura. 113 pp.

Casado, A. L.; Gil, V.; Campo, A. M., 2007. Consecuencias de la variación de la disponibilidad hídrica en la cuenca del arroyo El Belisario. Buenos Aires, Argentina. Revista Huellas N° 11. Miño y Dávila Editores. pp. 9-26.

Castillo, E. F. y Sentis, F.C., 2001. Agrometeorología. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 517 pp.

Castro, C. y Brignardello, L., 2005. Geomorfología aplicada a la ordenación territorial de litorales arenosos. Orientaciones para la protección, usos y aprovechamiento sustentables del sector de Los Choros, Comuna de la Higuera, IV Región. Revista de Geografía, Norte Grande, N° 033. Pontificia Universidad Católica de Chile. Chile. pp. 33-57.

Ceballos, A. y Schnabel, S., 1997. "Comportamiento de la escorrentía superficial en las vertientes de una cuenca hidrográfica en el ecosistema Dehesa. Cuenca de Guadalperalón. (Provincia de Cáceres)". Geographicalia. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. España. N° 35. pp. 29-41.

Chow, V.T., Maidment, D.R. y L.W. Mays, 1994. Hidrología Aplicada. McGrawHill, Bogotá. 584 pp.

Christofolletti, A., 1986/1987. Análise topográfica de bacias de drenagem. Geociencias, São Paulo. N° 5/6. pp. 1-29.

Cingolani, C. A., 2005. Unidades morfoestructurales (y estructuras menores) de la provincia de Buenos Aires. En: De barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap. II, pp. 21-30

Censo Nacional Agropecuario, 2002. www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/economia_agraria/index/censo/index.php

Cooke, R., Waren, A. y Goudie, A., 1993. Desert geomorphology. UCL Press, 526 pp.

Coronel, A. y Sacchi, O. 2006. Climatología de eventos secos y húmedos en el sur santafesino. Revista de investigaciones de la facultad de ciencias agrarias. Numero IX.

Cuerda, A. J., Cingolani, C. A. y Barranquero, H. R., 1975. Estratigrafía del basamento precámbrico en la Comarca de los Cerros Pan de Azúcar – Del Corral, Sierras Australes (provincia de Buenos Aires). Actas 2º Congreso Iberoamericano de Geología Económica, 1. Buenos Aires, pp. 57-63

D

Demoulin, A., Zarate, M. y Rabassa, J., 2005. Long-term landscape development: a perspectiva from the southern Buenos Aires ranges of east central Argentina. Journal of South American Earth Sciences 19. pp.193-204

Derruau, M., 1970. Geomorfología. Ediciones Ariel. España. 442 pp.

Dirección General de Agua y Energía Eléctrica, 1950. Anuario Hidrológico 1945/1946. Buenos Aires, Argentina. 232 pp.

Deschamps, C.M., 2003. Estratigrafía y paleoambientes del Cenozoico en el Sur de la provincia de Buenos Aires. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. 294 pp.

D'Ercole, R. y Metzger, P., 2002. Los lugares esenciales del distrito metropolitano de Quito. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Quito, Ecuador. 206 pp.

Días, G. F., 1988. Características estructurales del Abra de la Ventana y adyacencias. Sierras Australes de Buenos Aires. Rev. Asoc. Geol. Arg., T XLIII, (4), pp. 482-492

Díez Herrero, A., 2004. Geomorfología e Hidrología fluvial del río Albeche. Modelos SIG para la gestión de riberas. Memoria de tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid, Madrid. 610 pp. <http://eprints.ucm.es/tesis/geo/ucm-t25361.pdf>

Dimieri, L.V., 1989. Plegamiento en las cuarcitas de las formaciones Napostá y Providencia, Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. Actas1, Primeras Jornadas Geológicas Bonaerenses, Tandil. pp 1031-045.

Dimieri, L., Delpino, S. y Turienzo, M., 2005. Estructura de las Sierras Australes de Buenos Aires. En: De barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap. VII. pp 101-118

Donnari, M. y Scian, B. (1993) Sequías Edáficas en Bordenave, Método de Palmer. Revista Geofísica, 39: 84-99.

E

Elmoujahid, A.; 1997. "Aplicación del análisis estadístico para la homogeneización climatológica e hidrológica en la cuenca del río Aragón aguas arriba del Pantano de Yesa (Pirineo Central)". Geographicalia. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. España. N° 35. pp. 57-74.

Endlicher, W.; 1988. "El problema de la erosión del suelo en la Cordillera de la Costa de la Octava Región" Revista de Geografía. Pontifica Universidad Católica de Chile. Instituto de Geografía. N° 15. pp. 11-27.

Esper Angillieri, M. Y., 2007. Morphometric analysis of Colangüil river basin and flash flood hazard, San Juan, Argentina. *Environmental Geology*, Springer, Berlin, Heidelberg. Vol. 55, n° 1, pp.107-111

F

Fernández García, F., 2007. Creación de nuevos mapas a partir de MDE. Aplicación de las funciones de análisis de superficies. En: Moreno Jimenez, A., 2007. *Sistemas y análisis de información geográfica. Manual de autoaprendizaje con ArcGis*. RA-MA Editorial. 908 pp.

Figuroa, L. 1968. Informe preliminar sobre algunas acumulaciones de bloques en el área del Abra de la Ventana (Provincia de Buenos Aires). Terceras Jornadas Geológicas Argentinas. Actas II Buenos Aires, pp 43-66.

Frangi, J.L. y Barrera, M.D. 1996. Biodiversidad y dinámica de los pastizales en la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. Pp. 134-162 in: G Sarmiento & M Cabido (ed.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*. Mérida: Cytel y Cielat.

Frangil, J.L y Bottino, J.O., 1995. Comunidades vegetales de la Sierra de la Ventana, Provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agron. (La Plata)*, 71:93-133.

Frenguelli, J., 1950. Rasgos generales de la morfología y la geología de la provincia de Buenos Aires. Publicaciones LEMIT, Serie II (33) La Plata pp. 1-72

Frenguelli, J.; 1956. Rasgos Generales de la hidrografía de la provincia de Buenos Aires. Ministerio de Obras Públicas. Serie II. N° 62. 18 pp.

Furque, G.; 1973. Descripción geológica de la hoja 34n, Sierra de Pillahuinco. Provincia de Buenos Aires. Ministerio de Economía. 70 pp.

G

Gabella, J. I. 2009. Aproximación a la historia ambiental de Pelicurá, sobre la base de registros pluviométricos. Partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires. Bahía Blanca: Tesis de Licenciatura en Geografía (Inédita). Departamento de Geografía y Turismo, Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. 90 pp.

García. J. y García, O.M.; 1964. "Hidrología de la región de Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires y La Pampa". Dirección Nacional de Geología y Minería. Bol. N° 96. 94 pp.

García Martínez, M. B., Carbone, M.E., Perillo, G.M. y Piccolo, M.C., 2008. Incidencia de la variabilidad hidrológica en la morfología de cauces del arroyo Claromecó (Buenos Aires, Argentina). *Geographicalia* 54, pp. 61-83.

García-Ruiz, J.M.; Gómez-Villar, A.; Ortigosa-Izquierdo, L. M., 1987. Aspectos dinámicos de un cauce fluvial en el contexto de su cuenca: el ejemplo del río Oja. *Monografías del Instituto Pirenaico de Ecología, JACA*. Instituto de Estudios Riojanos, Logroño. 112 pp.

Gibbs, W. y Maher, J., 1967. Rainfall deciles as drought indicators. *Bureau of Meteorology Bulletin* N° 18, Commonwealth of Australia, Melbourne.

Gil, V.; Campo, A., 2000. Cuenca del Arroyo del Oro: Características hidrográficas y los efectos sobre la población. *Actas III Jornadas de Geografía Física*. Santa Fe. Argentina, pp 153-159.

Gil, V. y Campo de Ferreras, A., 2006. Procesos de Vertientes en el área del Abra de la Ventana. Partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires. VI Jornadas Nacionales de Geografía Física. Universidad Nacional de la Patagonia Austral. Unidad Académica Río Gallegos. Río Gallegos.

- Gil, V., Gentili, J. O., Zapperi, P.A., Casado, A.L. y Campo, A.M., 2008a. Aspectos geomorfológicos e hidrometeorológicos en cuencas serranas, Suroeste de la provincia de Buenos Aires. Utilización de tecnología SIG. Jornadas de GIS. Resumen. s/p.
- Gil, V.; Zapperi, P.; Campo, A.M.; Luorno, M. V. y Ramborger, A., 2008b. Análisis de las precipitaciones de otoño y primavera en el Suroeste bonaerense. Actas de las VII jornadas Nacionales de Geografía Física. Jujuy, pp 149 -158.
- Gil, V., Gentili, J.O. y Campo, M. 2009. Influencia de la litología en los parámetros morfométricas, Sistema de Ventania, Argentina. Papeles de Geografía 49-50. Universidad de Murcia. España. pp. 55-68.
- Giusso, E., Ainchil, J. y Kruse, E., 1995. Estudio de factibilidad para el abastecimiento de agua potable a Villa Ventana. Partido de Tornquist. Provincia de Buenos Aires. Universidad de La Plata, Inédito. 48 pp.
- Gonçalves de Lima, A., 1999. "Caracterização Geomorfológica preliminar da Bacia do rio Das Pedras, Guarapuava – PR". Geografia. Río Claro. Vol. 24. N° 2. pp. 37–51.
- González, A. M., 1991. Análisis de la evolución reciente de la morfología del cauce del Bajo Gallego en las proximidades de Zaragoza: influencia de las actuaciones humanas en su entorno. Acta Geológica Hispánica, v. 26, n° 1, pp. 23–33.
- González Uriarte, M. 1984. Características geomorfológicas de la porción continental que rodea la Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires. Actas 9no. Congreso Argentino de Geología, Bariloche, Argentina, pp 556–576.
- González Uriarte, M.y Navarro, E.; 1988. "Carta Geomorfológica Aplicada de la laguna Epecuén y adyacencias. Actas de 2das Jornadas Geológicas Bonaerenses. Bahía Blanca, pp 133–144.
- González Uriarte, M.; Carballo, O.; Aldacour, H.; Calmels, A., 1988. Geomorfología de la sierra de Bravard y su piedemonte (Provincia de Buenos Aires). Segundas Jornadas geológicas bonaerenses. Actas. Bahía Blanca. pp. 173–185
- González de Matauco, A.I., 2004. Análisis morfométrico de la cuenca y de la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes aplicado a la peligrosidad de crecidas. Boletín de la AGE N° 38. España. pp. 311-329
- González, S.G. y Natenzon, C.E., 2002. Cuenca hidrográfica y riesgo ambiental. Dos estrategias de resolución de incertidumbre. Presentación a la Mesa Redonda: "Cuenca hidrográfica y riesgo ambiental" IX Jornadas Cuyanas de Geografía. Mendoza. Ponencia. <http://www.filo.uba.ar/contenidos/investigacion/institutos/geografia/pirna/PONCuyo2002.pdf>
- Goudie, A.S. 2004. Encyclopedia of geomorphology. Vol. 2. Routledge Ltd. 1156 pp
- Gravelius, H., 1914. Flubkunde. Gosche'sche Verlagshan dlung Belin. En: Zavoianu, I., 1985 Morphometry of Drainage Basins. Elsevier. Amsterdam
- Gregory, K.J. y Walling, D.E., 1973. Drainage basing. Form and process: a geomorphological approach. Londres, Edward Arnold. 458 pp.
- Grippe, S. B. y Visciarelli, S. M., 2006. Políticas públicas y promoción inmobiliaria en el desarrollo turístico de la localidad de Villa Ventana. Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. pp. 223-230
- Grondona, M.F. 1975. Pendiente del océano Atlántico. En: Geografía de la república Argentina. Tomo VII. Hidrografía. Sociedad Argentina de estudios Geográficos. 629 pp.
- Guerra, F. y González, J., 2002. Caracterización morfométricas de la cuenca de la quebrada La Bermeja, San Cristóbal, Estado de Táchira, Venezuela. Geoenseñanza, Vol 7. (1-2), pp 88 -108.

Gutierrez Elorza, M. 2002. Geomorfología climática. Ed. Omega. 642 pp.

H

Harrington, H., 1947. "Explicación de las hojas geológicas 33m y 34m, Sierras de Curamalal y de la Ventana, Provincia de Buenos Aires", *Servicio Nacional Minero Geológico*, Boletín 61, Buenos Aires, 43 pp.

Hernández, G., 1998. "Metodología para la elaboración de mapas de pendientes". *Revista Geográfica de América Central*. Universidad Nacional. Heredia, Costa Rica. N° 36. pp. 69–79.

Hernández, M.; Fili, M.; Auge, M. y Ceci, J.; 1975. "Geohidrología de los acuíferos profundos de la provincia de Buenos Aires". VI Congreso de Geología Argentina. T.2. pp. 479–500.

Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainag basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 56, pp 275-370.

Howard, A. D., 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologist* N° 51 pp. 2246-2259

Hubp, J.L. 1990. "Mapa Geomorfológico del occidente de la cuenca de México". *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM, pp. 1–20.

Hui-Ping Zhang, Shao-Feng Liu, Nong Yang, Yue-Qiao Zhang and Guo-Wei Zhang 2006. Geomorphic characteristics of the Minjiang drainage basin (eastern Tibetan Plateau) and its tectonic implications: New insights from a digital elevation model study. *Island Arc*, Vol. 15 Issue 2 Blackwell Publishing Asia Pty Ltd. Pp. 239 – 250.

Huffy, A., 1984. *Introducción a la climatología*. Barcelona, Ariel, 299 pp.

I

INDEC, 2001. Resultados provinciales. Censo 2001. http://www.indec.gov.ar/censo2001s2_2/

ITC, 1980. El sistema ITC para levantamientos geomorfológicos. pp 20-83

J

Jardí, M., 1985. Forma de una cuenca de drenaje. Análisis de las variables morfométricas que nos la definen. *Revista de Geografía*. Volumen XIX. Departamento de Geografía de la Universidad de Barcelona, pp. 41-68.

Julián Andrés, A. y Chueca Cía, J., 1998. Acumulaciones fluviales en la depresión del Ebro: Valoración de la validez de una secuencia general. *Geographicalia*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. España. N° 36. pp. 67–82.

K

King L.C., 1967. *The morphology of the Earth. A study and syunthesis of world scenery*. 2 ed. Oliver & Boyd, Edinburgh. 726 pp.

King Cuchlaine, A.M., 1984. *Geografía Física*. Oikos-tau S.A. ediciones. España. 541 pp.

Kristensen, M. J., 1992. Características microclimáticas de las Sierras de la Ventana y su relación con la vegetación. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata. Inédita.

Kristensen, M. y Frangi, J., 1995. "La Sierra de la Ventana. Una isla de biodiversidad", en Revista de Divulgación Científica y tecnológica, N°. 30, Ciencia Hoy.

Knighton, D., 1984. Fluvial forms and processes, London: Edward Arnold Publishers, 216 pp.

L

Leopold, L.B., Gordon Wolman, M. Y Miller, J.P., 1995. Fluvial Processes in Geomorphology. Dover Publication. 522 pp.

Linsley, R.K., Kohler, M. A. y Paulus, J.L.H. 1977. Hidrología para ingenieros. Ed. Mc Graw-Hill Latinoamericana. Bogotá, Colombia. 386 pp.

Lizzi, J., 2004. Caracterización regional de la estructura y funcionamiento de los pastizales de Sierra de la Ventana. Aplicación en la planificación forrajera de un establecimiento ganadero de la región, Universidad de Buenos Aires, Inédito, 146 pp.

Lizzi, J.M; Garbulsky, M. F.; Golluscio, R. A. 2007. Mapeo indirecto de la vegetación de Sierra de la Ventana, provincia de Buenos Aires. Revista Ecol. Austral, jul/dic., Vol. 17, N° 2, pp 217-230.

López, R. F. y Crespo, C.H.; 1996. "Erosividad de las lluvias y riesgos de erosión hídrica en suelos de Mucuchíes, estados Mérida". Revista Geográfica Venezolana. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol. 37. N° 1. pp. 77–95.

López Bermúdez, F., Rubio Recio, J. M. y Cuadrat, J. M., 1992. Geografía Física. Ediciones Cátedra S.A.. Madrid, España. 594 pp.

López Cerezo, J. y Luján López, J. L., 2000. Ciencia y política del riesgo, Alianza Editorial, Madrid

Lores, R.R., 1979. Suelos, control del escurrimiento y de la sedimentación en Tornquist (Pcia. de Bs. As.) Buenos Aires: INTA. 243 pp.

Lupia Palmieri, E., Biasini, A., Caputo, C., Centamore, E., Ciccacci, S., Delmonte, M., Fredi, P. y Pugliese, F., 2001. Geomorfología Cuantitativa e morfodinámica del territorio abruzzese: III-il bacino idrografico del fiume saline. Geogr. Fis. Dinam. Quat. 24, pp. 157.176

Luque, J. A.; Paoloni, J.D. y Bonorino, G.A., 1979. Estudio Hidrológico e Hidrogeológico de la cuenca del río Sauce Grande. S. Hidrología 3. Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 64 pp.

Mabutt, J.A. 1977. Desert landforms. Te MIT Press, Cambridge, Massachussetts. 340 pp.

Luque, J.A., 2007. La hidrología de las cuencas de los ríos Napostá y Sauce Grande, provincia de Buenos Aires. Serie Hidrología y Riego. Universidad Nacional del Sur. 38 pp.

M

Mansilla, E., 2000. Riesgo y ciudad. La Red: Red de estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina. 131 pp. <http://www.desenredando.org>

Marchetti, A., 1968. Estudio hidrológico de la zona Sud de la provincia de Buenos Aires". Dirección Nacional de Geología y Minería. Carpeta 578. Buenos Aires.

Marchetti, M., 2000. Geomorfología Fluviale. Pitagora Editrice. Bologna. 247 pp.

Marini, M. F., 2002. Hidrografía del río Quequén Salado. Tesis de Doctorado, Departamento de Geografía., Universidad Nacional del Sur. Bahía Blanca. 162 pp.

- Martín-Serrano, A., Montes, M. y Del Valle, R., 2004. Mapa geomorfológico de los alrededores de la base Esperanza, extremo norte de la península Antártica. Actas V Simposio Argentino y I Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas. Dirección Nacional del Antártico. Buenos Aires. 5 pp.
- Martín Vidé, J.P. 2003. Ingeniería de ríos. Alfaomega grupo editor. 329 pp.
- Masabie, A. C. y Rosello, E. A., 1984. La discordancia pre-Formación Sauce Grande y su entorno estratigráfico Sierras Australes de Buenos Aires. Argentina. Actas del 9° Congreso Geológico Argentino, 1. pp. 337-352.
- Massabie, A.C. y Rossello, E.A. 1990. El fallamiento Abra de Rivera y su participación en la estructuración de las Sierras Australes, Buenos Aires, Argentina. Anales Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales 42: 195-204, Buenos Aires.
- Masabie, A. C., Rosello, E. A. y López Gamundí O. R., 2005. Cubierta paleozoica-mesozoica de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires. En: De barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap. VI. pp. 85-100
- Mckee, T. V., Doesken, N. J. y Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. On Appl. Climatology, Anaheim, CA, Am. Meteor. Soc., 174-184.
- Melo, W.D., 2003. Génesis del Estuario de Bahía Blanca: relación morfodinámica y temporal con su cuenca hidrográfica. Tesis Doctoral. Universidad Nacional del Sur. Departamento de Geografía. 215 pp.
- Melton, M.A. 1957. An analysis of the relations among elements of climate, surface properties and geomorphology. Office of naval research. Geography Branch. Project NR. Technical Reports nº 11.
- Mesa L. M.; 2006. Morphometric analysis of a subtropical andean basin (Tucumán, Argentina). Environmental geology. vol. 50, nº8, pp. 1235-1242. Springer Berlin / Heidelberg .
- Mikkan, R.A., Peña Monné, J. L.; Durán, V.; Sancho, C. y Pickenhayn, J. 2001. La Caverna de las Brujas. Editorial de la Facultad de Filosofía y letras. Mendoza. 156 pp.
- Mikkan, R.A., 2007. Geomorfología volcánica de la Reserva La Payunia, Malargüe, Mendoza. Argentina. Editorial de la Facultad de Filosofía y letras. Mendoza. 79 pp.
- Mikkan, R.A., 2007b. Aguas Salvajes. Colección Jarilla. Editorial de la Facultad de Filosofía y Letras. Mendoza. 116 pp.
- Monachesi, A. 1993. "Conflits d'environnement, strategies sociales et transformations du territoire. Les inondations dans le Soud-Oueste de la province de Buenos Aires (Argentina). Universite de Toulouse. France. Tesis Inédita. 64 pp.
- Morell Cuevas, J., 2001. El factor de la precipitación en la formación de avenidas en la cuenca alta del Turia. Geographicalia. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Universidad de Zaragoza. España. N° 40. pp. 47-74.
- Morello, J. Y Solbrig, O.T. 1997. Argentina granero del mundo ¿Hasta cuándo?. : la degradación del sistema agroproductivo de la pampa húmeda y sugerencias para su recuperación. Orientación Gráfica Editora SRL. Buenos Aires. 280 pp.
- Morisawa, N.H. 1959. "Relation of quantitative geomorphology to stream flow in respective watersheds of the Appalachian Plateau Province. Techn. Report 29, Dept, Geol., Columbia Univ., New York, 94 pp. En Verstappen, H. Th. (1983) Applied Geomorphology
- Morisawa, M.E., 1985. Rivers, form and processes. Longman, London. 222 pp.

Moya, M. E., Garzón, G. y Ortega, J. A., 1998. Depósitos de la avenida del arroyo Rivillas, Badajoz, noviembre de 1997 pp 229-136. En: Gómez Ortiz, A. y Salvador Franch, F. (Eds.), Investigaciones Recientes de la Geomorfología Española. Barcelona

Municipalidad de Tornquist, 2002. Plan de Ordenamiento Territorial de la Comarca de la Sierra de la Ventana. Partido de Tornquist. <http://tornquist.gov.ar/portal/html/ordenamiento/index.html#>

Municipalidad de Bahía Blanca, 2000. Plan Estratégico Bahía Blanca. Bahía Blanca.

N

Natenzon, C. E., Marlenko, N., González, S., Ríos, D., Murgida, A., Meconi, G. y Calvo, A., 2003. Las dimensiones del riesgo en ámbitos urbanos. Catástrofes en el Área Metropolitana de Buenos Aires. En: Procesos territoriales en Argentina y Brasil. Alessandri Carlos, A. F. y Bertoncetto, R. compiladores. Universidad de Buenos Aires/ Universidad de San Pablo; pp 255-276.

Natenzon, C. E., 2003. Inundaciones catastróficas, vulnerabilidad social y adaptaciones en un caso argentino actual. Cambio climático, elevación del nivel medio del mar y sus implicancias. Conferencia en Climate Change Impacts and Integrated Assessment EMF Workshop IX. Snowmass, Colorado.

Natenzon, C. E., 2007. La vulnerabilidad social como dimensión del riesgo. Análisis de la zona costera del río de la Plata. En: Geografía y territorios en transformación. Nuevos temas para pensar la enseñanza. M.V. Fernández Caso, coordinadora. Buenos Aires, NOVEDUC - Novedades Educativas; pp. 85-111.

Natenzon, C. E., 2008. Apunte de curso de posgrado Catástrofes, riesgo ambiental y vulnerabilidad social: Análisis de riesgo ambiental en el caso de inundaciones en el Noreste bonaerense. Dimensiones del riesgo y complejidad creciente En: Mesa redonda De la atención de la emergencia a la promoción del desarrollo regional. Organizada por CoProNOBA, 2001.

Novoa Jerez, J.; 1986. "Hidrogeomorfología, riesgos naturales, control y manejo de la cuenca las gaultatas, provincia de Santiago. Boletín Informativo I.G.M. I Semestre. pp. 79–96.

Novoa Jerez, J., 1987. Consideraciones geomorfológicas para la evaluación del riesgo y peligro fluvial. Revista Geográfica de Chile Terra Australis. N° 30. pp. 39–53

O

Ogden, F.L.; Sharif, H.O.; Senarath, S.U.S.; Smith J.A.; Baeck, M.L.; Richardson J.R.; 2000. "Hydrologic analysis of the Fort Collins, Colorado, flash flood of 1997". Journal of Hydrology 228. pp. 82–100.

Osorio, A.U. y Fritsch, F.N., 1978. Comparación entre el método del cilindro y de la parcela infiltrómetro en la medición de velocidad de infiltración del suelo. Investigación Agrícola (Chile), Vol 4, N° 3. pp. 99 – 103.

Ottmann, L.; Tricart, J. 1966. Aplicación de la cartografía geomorfológica detallada al estudio de las vertientes. Centro de Geografía Aplicada, Universidad de Estrasburgo. Traducción libre del original francés por Dr. Calmels. Universidad Nacional del Sur. 31 pp.

P

Palacio Prieto, J.L. 1990. "Determinación de áreas de erosión potencial en cárcavos: un ejemplo en el centro de México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía. UNAM, pp. 45-55.

Palmer, W. 1965. Meteorological drought. U.S: Weather Bureau, Reserch Paper N° 45, Washington.

Panizza , M., 2002. Geomorfología. Pitágora Editrice S.R.L. Bologna, Italia. 397 pp.

Pedraza Gilsanz, J., 1996. Geomorfología. Principios, métodos y aplicaciones. Editorial Rueda. Madrid. España. 414 pp.

Peña Cortez, F.; 1995. "Geomorfología de la ribera norte del río Biobío en su curso inferior. Limitaciones y potencialidades del área". Revista de geografía Norte Grande N° 22. pp. 27–33.

Peña Monne, J. L. 1997. Cartografía Geomorfológica Básica y Aplicada. Geoforma Ed. Logroño. 226 pp.

Peña Monne, J.L., Pellicer Corellano, F., Asunción, J.A., Chueca Cía., J., Echeverría Arrendó, M.T., Lozano Tena, M.V. y Sánchez Fabre, M., 2002. Mapa Geomorfológico de Aragón. Ed. Consejo de protección de la naturaleza. Zaragoza. 54 pp.

Petagna de Del Río, A.M., 2000. Las salicáceas en la organización del espacio geográfico. Actas III Jornadas de Geografía Física. Santa Fé. pp. 41–63.

Petagna de Del Río, A.M., 2002. Metodología para el estudio geográfico de la vegetación. Actas IV Jornadas de Geografía Física. Mar del Plata. pp. 66–75.

Petts, G. y Foster, I., 1985, Rivers and Landscape. Edwar Arnold Ed. (Publisher) Ltd. London. 274 pp.

Plan estratégico de Bahía Blanca, 1999. www.bb.mun.gba.gov.ar/planestrategico

Posadas, C., 1944. Las inundaciones producidas por las lluvias del 7 al 10 de abril de 1944 en la región de Bahía Blanca. La ingeniería, pp 785 – 797.

R

Rabassa, 1979. Mapa Geomorfológico de la cuenca del río Manso Superior, Provincia de Río Negro, Argentina. Publicaciones de la facultad de Humanidades. N° 4. 28 pp.

Rabassa, J.; 1982. "Variación regional y significado geomorfológico de la densidad de drenaje en la cuenca del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires. RAGA XXXVII (3). pp. 268-284

Rabassa, J. 1989. Geología de los depósitos del Pleistoceno Superior y Holoceno en las cabeceras del río Sauce Grande, provincia de Buenos Aires. En: Actas 1° Jornadas Geológicas Bonaerenses, pp. 765-790.

Remenieras, G. 1974. Tratado de Hidrología Aplicada. Editores Técnicos Asociados. S.A. Barcelona, España. 515 pp.

Ricci, S., 1996. Estudios sobre la actividad humana en los ecosistemas naturales de la región serrana y sus consecuencias. pp. 144-152. En: G Sarmiento & M Cabido (ed.). *Biodiversidad y funcionamiento de pastizales y sabanas en América Latina*. Mérida: Cytet y Cielat.

Richard, K., 1982. Rivers, forms and process in alluvial channels. Methuen. London and New York. 358 pp.

Romero Díaz, M.A., 1989. Las cuencas de los ríos Castril y Guardal (cabecera del Guadalquivir). Estudio Hidrogeomorfológico. EXCMO, Ayuntamiento de Huéscar (Granada). Universidad de Murcia. 285 pp.

Romero Díaz, M. A. y López Bermúdez, F., 1987. Morfométricas de redes fluviales: revisión crítica de los parámetros más utilizados y aplicación al alto Guadalquivir. Papeles de Geografía N° 12, España. pp. 47-62.

Rosello, E.A. y Massabie, A.C. 1981. Micro y mesoestructuras en las formaciones Lolén y Sauce Grande y sus implicancias tectónicas. Sierras Australes de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina XXXVI (3): 272-285.

S

SAGyP – INTA, 1989. Mapa de Suelos de la provincia de Buenos Aires. Proyecto PNUD ARG. Buenos Aires. 525 pp.

Sala, J.; 1969. "El agua subterránea en el Noreste de la provincia de Buenos Aires. Reunión Geológica del Agua Subterránea. CIC, La Plata. pp. 25–49.

Sala, J.; 1975. "Recursos Hídricos". VI Congreso de Geología Argentina. pp. 169–193.

Sala, J.; 1980. "Geología en cuencas de llanura con énfasis en hidrología". Comisión de Cuencas hídricas. Rosario, pp. 223.

Sala, J.; 1981. "Problemática en las investigaciones geohidrológicas en grandes llanuras." Primeras Jornadas Geológicas de la provincia de La Pampa. F.3. pp. 33–35.

Sala, J.; González, N.; Kruse, E.; 1983. "Generalización hidrológica de la provincia de Buenos Aires". Coloquio Internacional sobre hidrología de Grandes llanuras. Olavarría. pp. 995–1009.

Sala, M. y Gay, R., 1981. Algunos datos morfométricas de la cuenca del Isábena. Notes de Geografía Física. N° 4. Department de geografia, Universitat de Barcelona. Barcelona. pp. 41 – 65.

Sala Sanjaume, M. y Batalla Villanueva, R., 1996. Teoría y método en geografía física. Madrid. Ed. Síntesis. 303 pp.

Sánchez, F.J. 2004. Distribuciones estadísticas. Universidad de Salamanca, 12 pp. (En: <http://web.usal.es/javisan/hidro>)

Sancho, C., Peña J.L., Belmnote, A., Souza, V., Fort, R., Longares, L.A. y Sopena, M.C., 2004. Modelado en areniscas de los torrollones de gabarda (Monegros, Huesca). Pp. 329 – 343. En: Geografía Física de Aragón. Aspectos generales y temáticos. Peña Monne, J.L., Longares Alarden, L.A. y Sanchez Fabre, M. (Eds). Universidad de Zaragoza. España. 343 pp.

Sander, L.L., 1998. A manual of field Hydrogeology. Prentice Hall. New Jersey. 381 pp.

Selles Martínez, J., 2001. Geología de la Ventania. Provincia de Buenos Aires, Argentina. Journal of Iberan Geology, N° 27, pp. 43-69

Servicio Meteorológico Nacional, 1881. Estadísticas Climatológicas, Serie 1961 – 1970. Fuerza Aérea Argentina.

Servicio Meteorológico Nacional, 1886. Estadísticas Climatológicas, Serie 1971 – 1980. Fuerza Aérea Argentina.

- Scheffer, J.C., 2004. Los Recursos hídricos y el abastecimiento de agua. Cepade. 66 pp.
- Scheidegger, A.E., 1968. Horton's law of stream Numbers. Water Resours Research Vol. 4. N° 3 pp.655-658.
- Schumm, S. A., 1956. The evolution of drainage system and slopes in badlands at Pearth Amboy, New Jersey. En Senciales González , 1999, Redes Fluviales, Metodología de Análisis
- Schumm, S. A., 1964. Airphotos and water resources. Trans. UNESCO Symp. Aerial Surveys and Integrated studies, Tolouse. UNESCO: 70-80. En Verstappen, H. Th. (1983) Applied Geomorphology
- Schumm, S. A., 1977. The fluvial System. The Blackburn press. 338 pp.
- Schumm, S.A.; Erskine, W. D. y Tilleard, J.W., 1996. Morphology, hydrology, and evolution of the anastomosing Ovens and King Rivers, Victoria, Australia. GSA Bulletin, v. 108. N° 10. pp. 1212-1224
- Scian, B., 1997. Comparación entre el Índice de Precipitación Estandarizado y otros Índices Hidrológicos para la Región Pampeana. Meteorológica. Centro Argentino de Meteorólogos. Vol. 22 - Número 2
- Seiler, R., Hayesm, M. y Bressan, L., 2002. Using the Standardized Precipitation Index for flood risk monitoring. International Journal of Climatology 22, pp. 1365–1376
- Selles Martinez, J.; Carletto, C., 1990. Causas y periodicidad de las inundaciones en la Cuenca de las encadenadas del Oeste (Provincia de Buenos Aires.) Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XLV, 1 – 2. 1-8 pp.
- Senciales González, J. M., 1999. Redes Fluviales, Metodología de Análisis. Universidad de Málaga, España. 337 pp.
- Sheng, T.C., 1992. Manual de campo para la ordenación de cuencas hidrográficas. Estudio y planificación de cuencas hidrográficas. Roma. FAO. 185 pp.
- Shreve, R. L., 1966. Statistical law of stream Lumber. Journal of Geology, N° 74, pp. 17-73
- Sili, M., 2000. Los Espacios de la Crisis Rural. Geografía de una Pampa Olvidada. Bahía Blanca: EdiUns, Universidad Nacional del Sur, Colección Sociedad y Territorio.
- Simonovic, S. P.; 1999. "Social criteria for evaluation of flood control measures: Winnipeg case study" Urban Water 1. pp 167 – 175. www.elsevier.com/locate/urbwat
- Skansi, M., Núñez, S., Barríos Cáceres, S. y Podestá G. 2006. Un nuevo producto operacional para monitorear la ocurrencia y duración de períodos secos y húmedos, usando el Índice de Precipitación Estandarizado. Revista Agrometeorología.
- Strahler, A.N., 1964. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. En: Chow, V.T. Handbook of applied hidrology, New York: M^cGraw Hill
- Strahler, A. N., 1974. Geografía Física. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 767 pp.
- Strahler, A.H. y Strahler, A. N., 1989. Geografía Física. Barcelona: Omega. 550 pp.
- Strahler, A.N. y Strahler, A.H., 1996. Phisical Geography : Science and systems of the human environment. John Wiley & Sons, Inc. 637 pp.

T

- Tapia, A., 1937. Datos geológicos de la provincia de Buenos Aires. En: Aguas minerales de la República Argentina. Com. Climat. y Aguas Subt., II:23 – 90.

Teixeira, A.L.A. y Gerardi, L.H.O., 1992. Construção automática de cartas de exposição de vertentes. Geociencias, São Paulo. N° 11. pp. 113 – 132.

Thorne, C. R., 1998. Stream Reconnaissance Handbook. John Wiley & Sons Ltd. New York. 133 pp.

Tomezzoli, R. N. y Cristalini, E. O., 2004. Secciones estructurales de las Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires: repetición de las secuencias estratigráficas a partir de fallas inversas. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (2). pp. 330 – 340

Tricart, J., 1960. Les types de lits fluviaux. Mise au pint. L'information Geographique n° 5. pp. 210 – 148.

Tricart, J., La cartografía hidrogeomorfológica detallada y su interés para el estudio de los regimenes fluviales. Traducción del francés por el Dr. Capitanelli. Laboratorio de Geografía Física y de Cartografía, Centro de Geografía Aplicada. Universidad de Estrasburgo. 30 pp.

Tricart, J., 1966. Geomorfología del área de Mucuchíes. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol. VII. N° 16 – 17. pp. 31 – 42.

Tricart, J. L.; 1973. Geomorfología de la Pampa Deprimida como base para estudios edafológicos y agronómicos. INTA: Vol. Cien., XII.

Tricart, J. 1978. Géomorphologie applicable. Masson Paris.

Troeh, F.R. 1965. Landform equations fitted to contour maps. Am. J. Sci. 263. 616-627.

Tyller Miller, G. J., 1994. Ecología y Medio Ambiente. Grupo Editorial Iberoamérica. México. 896 pp.

U

U.S. Department of Agriculture, 2009. Hydrologic Soil Group. Chapter 7. Part 930 Hidrology. Title 210 Engineerign. [Online] .<http://directives.sc.egov.usda.gov/handbooks>.

Usselman, P., 1983. Los rasgos geomorfológicos de la cuenca del río Pamplonita (Norte de Santander, Colombia). Boletín del Instituto Frances de Estudios Andinos. Francia. Tomo XII, N° 1-2. pp. 1 - 16.

V

Varela, R.; 1978. Sierras Australes de la provincia de Buenos Aires: hipótesis de trabajo sobre su composición geológica y rasgos geotectónicos salientes. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XXXIII. N° 1, pp, 52–62.

Varela, R. Cingolani, C.A., 1975. Nuevas edades radimétricas del basamento aflorante en el perfil del cerro Pan de Azúcar-cerro del Corral y consideraciones sobre la evolución geocronológica de las rocas ígneas de las Sierras Australes, provincia de Bs. As. VI. Congreso Geológico Argentino, Actas I. Buenos Aires, pp. 543-556.

Varela, R.; Dalla Salda, L.H.; Cingolani, C.A., 1985. Estructura y composición geológica de las Sierras Colorada, Chasicó y Cortapié, Sierras Australes de Buenos Aires. Revista de la Asociación Geológica Argentina. Tomo XL, 3-4, pp 254-261.

Verstappen, H. Th., 1964. Geomorfología y conservación de recursos naturales. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol. IV – V. N° 11 – 12 – 13. pp. 69–82.

Vidal Romaní, J.R. y Twidale, C.R., 1998. Formas y paisajes granfíticos. Universidade da Coruña. Servicio de Publicaciones. 407 pp

Viers, G., 1983. Geomorfología. Oikos-tau S.A. España. 320 pp

Vivas, L.; 1966. Métodos de investigación hidro-geomorfológica aplicados en el estudio de una cuenca hidrográfica (caso de la cuenca del río Roubion, SE de Francia). Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol. VII. N° 16 – 17. pp. 53–73.

Vivas, L., 1968. Los mapas geomorfológicos detallados y su utilización en el aprovechamiento de los recursos naturales. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. N° 20. pp. 25–41.

Vivas, L., 1969. Procesos geomorfológicos y problemas erosivos de las cárcavas de San José, cuenca del Uribante. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. N° 22–23. pp. 59–80.

Vivas, L., 1970. Estudio geomorfológico de la cuenca superior de la Quebrada Tuñame-Estado de Trujillo. Revista Geográfica. Universidad de los Andes. Venezuela. Vol. XI. N° 24 -25. pp. 69–112.

Von Gosen, W., Buggisch, W. y Krumm, S., 1991. Metamorphism and deformation mechanisms in the Sierras Australes fold and thrust belt (Buenos Aires province, Argentina). Tectonophysics, 185: 335-356.

W

Wilches – Chaux, G., 1993. La vulnerabilidad global, en Maskrey, A., Los desastres no son naturales, Editorial La RED, Bogotá, pp. 9-50.

Y

Yrigoyen, M.R., 1975. Geología del subsuelo y plataforma continental. Relatorio VI Congreso Geológico Argentino. Geología de la provincia de Buenos Aires, I. pp. 135-168

Z

Zabala, C. y Quattrocchio, M., 2001. Estratigrafía y evolución geológica del río Sauce Grande (Cuaternario), provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56 (1), pp. 25-37

Zamorano, M., Capitanelli, R.G., Velasco, M.I., Barrera, R.O., Ostuni, J.P., Furlani de Civit, M.E., Gaignard, R., 1968. La geografía en la República Argentina. Ed. Paidós. Buenos Aires. 230 pp.

Zapperi, P.; Ramos, M.; Gil, V. y Campo, A., 2007. Caracterización de las precipitaciones estivales en el Suroeste bonaerense. En: Contribuciones Científicas, Sociedad Argentina de Estudios Geográficos 68 Semana de Geografía. pp. 483 – 491.

Zapperi, P., Casado, A., Gil, V. y Campo, A., 2007a. Caracterización de las precipitaciones invernales en el Suroeste Bonaerense. Actas IV Jornadas Interdisciplinarias del Sudoeste Bonaerense. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca. pp. 63-68

Zárate, M. A., 2005. El Cenozoico tardío continental de la provincia de Buenos Aires. En: De barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap. IX, pp. 139-158

Zárate, M. A. y Rabassa, J., 2005. Geomorfología de la provincia de Buenos Aires. En: De barrio, R. E., Etcheverry, R. O., Caballé, M.F. y Llambías, E. (edit.): Geología y Recursos Minerales de la provincia de Buenos Aires. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata. Cap. VIII, pp. 119-138

4590000

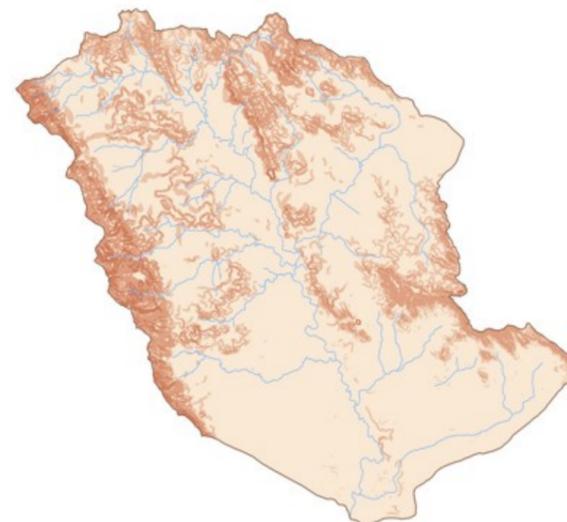
4600000

4610000

4620000

4630000

Mapa de Pendientes



0 9 km

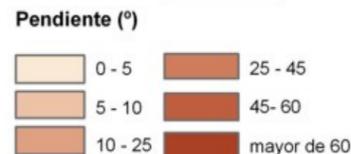


Fig. 8.6

Co. Destierro Primero (1.172 m)

Co. de la Ventana (1.134 m)

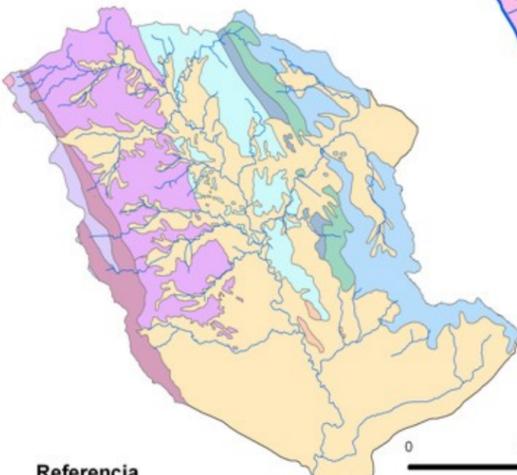
Cerro (931 m)

Fig. 8.11

Fig. 8.14



A) Mapa Geológico



Referencia

Cuenca alta del río Sauce Grande

Cursos de agua principales

Formación, Grupo

Bravard, Ventana	Piedra Azul, Pillahuincó
Napostá, Ventana	Bonete, Pillahuincó
Providencia, Ventana	Las Tunas, Pillahuincó
Lolén, Ventana	Plioceno
Sauce Grande, Pillahuincó	Cuaternario

0 10 km

0 10 km

Referencias

Hidrografía

Cuenca de recepción

Efímero

Intermitente

Sedimentos aluviales (en llanura inundable)

Morfoestructura

Macizo antiguo plegado

Cresta

Hogback

Tafoni

Collado de divisoria

Clusé

Formas climáticas

Superficies erosivas paleógenas

Pedimentos

Acumulaciones aluviales

Acumulaciones aluviales (cultivadas)

Bajada aluvial

Bajada aluvial (cultivada)

Conos aluviales (1 generación)

Conos aluviales (2 generación)

Superficie de acumulación fluvial residual

Dinámica de vertientes

Depósitos de debris flow

Soliflucción

Derrumbios de gravedad

Regueros

Arroyada difusa

Reptación

Elementos estructurales

Piñeque

Anticlinal

Sinclinal

Fractura

Salto

Cerro (altura)

Elementos antropogénicos

Ferrocarril

Localidad

Ruta

Figura 8.1. Mapa geomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande.

Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las fotografías aéreas, escala 1:20.000 y relevamiento de campo. Año 2009

4590000

4600000

4610000

4620000

4630000

5790000

5780000

5770000

5760000

5750000

5740000

5790000

5780000

5770000

5760000

5750000

5740000

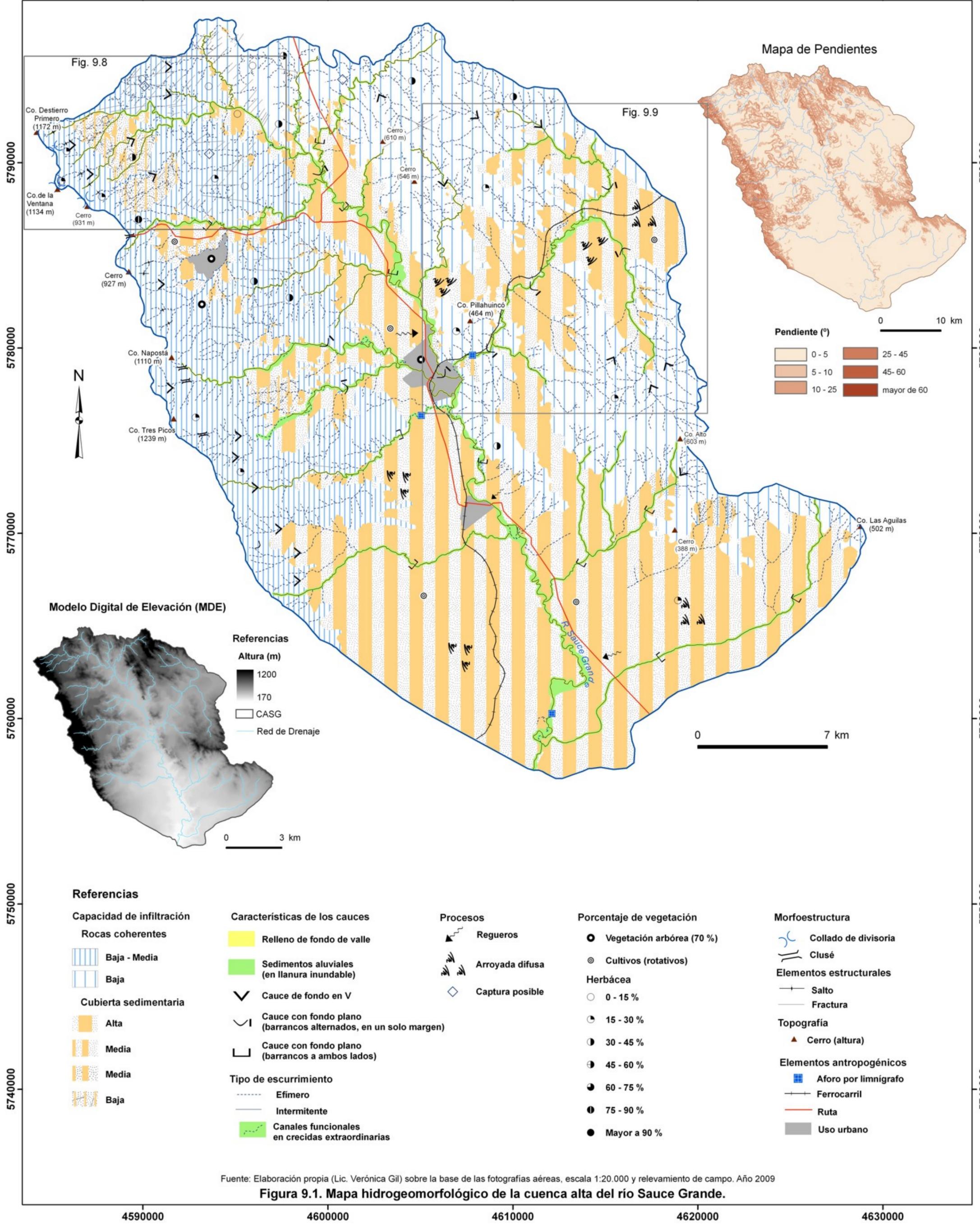


Fig. 9.8

Fig. 9.9

Mapa de Pendientes

Pendiente (°)

0 - 5	25 - 45
5 - 10	45 - 60
10 - 25	mayor de 60

Modelo Digital de Elevación (MDE)

Referencias

Altura (m)

1200
170

CASG

Red de Drenaje

Referencias

Capacidad de infiltración

Rocas coherentes

Baja - Media
Baja

Cubierta sedimentaria

Alta
Media
Media
Baja

Características de los cauces

Relleno de fondo de valle
Sedimentos aluviales (en llanura inundable)
Cauce de fondo en V
Cauce con fondo plano (barrancos alternados, en un solo margen)
Cauce con fondo plano (barrancos a ambos lados)

Tipo de escurrimiento

Efímero
Intermitente
Canales funcionales en crecidas extraordinarias

Procesos

Regueros
Arroyada difusa
Captura posible

Porcentaje de vegetación

Vegetación arbórea (70%)
Cultivos (rotativos)
Herbácea
0 - 15%
15 - 30%
30 - 45%
45 - 60%
60 - 75%
75 - 90%
Mayor a 90%

Morfoestructura

Collado de divisoria
Clusé
Elementos estructurales
Salto
Fractura
Topografía
Cerro (altura)
Elementos antropogénicos
Aforo por limnógrafo
Ferrocarril
Ruta
Uso urbano

Fuente: Elaboración propia (Lic. Verónica Gil) sobre la base de las fotografías aéreas, escala 1:20.000 y relevamiento de campo. Año 2009

Figura 9.1. Mapa hidrogeomorfológico de la cuenca alta del río Sauce Grande.